

Aus dem Institut für Physiologie und Biokybernetik
der Universität Erlangen-Nürnberg

Vorstand: Professor Dr. W. D. Keidel

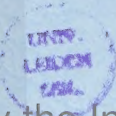
Ein on-line-Verfahren zur klassifizierten Mittelung evozierter Potentiale nach dem Leistungsspektrum des EEG durch ein Laborrechner-Mikroprozessor-System

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Rolf Pokorny
aus Gummersbach

1983



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Physiologie und Biokybernetik
der Universität Erlangen - Nürnberg

Vorstand: Professor Dr. W. D. Keidel

Ein on-line-Verfahren zur klassifizierten Mittelung evozierter Potentiale nach dem Leistungsspektrum des EEG durch ein Laborrechner-Mikroprozessor-System

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Rolf Pokorny
aus Gummersbach

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. F. Wolf
Referent: Prof. Dr. M. Spreng
Korreferent: Prof. Dr. W.D. Keidel

Tag der mündlichen Prüfung: 14.11.1983

Inhaltsverzeichnis

1.	<u>Einleitung und Problemstellung</u>	8
2.	<u>Methode der Klassifizierung von EEG-Signalen</u>	14
2.1	Klassifizierung der EEG-Signale	14
2.2	Ergebnisse der Klassifizierung	20
2.2.1	Beurteilungskriterien	20
2.2.2	Beispiel	22
2.2.3	Versuche zur Kriteriengewinnung aus dem verbor- genen evozierten Potential	27
3.	<u>On-line-Klassifizierung mit dem Rechner PDP12 und einem Mikroprozessor</u>	32
3.1	Veränderung der Klassifizierungsbedingungen gegen- über der off-line-Klassifizierung	32
3.1.1	Einschränkung der Genauigkeit	33
3.1.2	Parallele Verwendung eines Laborrechners und eines Mikroprozessors	39
3.1.3	Verwendung eines externen schnellen Multiplizierers	40
3.1.4	Reduktion der Klassifizierungsparameter	41
3.2	Ergebnisse der on-line-Klassifizierung	43
4.	<u>Beschreibung der entwickelten Software</u>	44
4.1	PDP12-Programm KLASS1: off-line-Klassifizierung	45
4.2	PDP12-Programm KLASS2: off-line-Klassifizierung	49
4.3	PDP12-Programm FFTMP128: on-line-Klassifizierung	51
4.4	PDP12-Programm FFTMP256: on-line-Klassifizierung	53
4.5	Mikroprozessorprogramm MPINT128: on-line-Klassi- fizierung	54

4.6	Mikroprozessorprogramm MPINT256: on-line-Klassifizierung	56
4.7	PDP12-Programm EAESH: Schneller Shift-Simulator für EAE-Befehle	56
4.8	PDP12-Programm LOADMP: Laden von auf der PDP12 assemblierten Programmen in den Mikroprozessor	57
4.9	Mikroprozessor-Programm MLOADMP: Laden von auf der PDP12 assemblierten Programmen in den Mikroprozessor	58
4.10	PDP12-Programm SIMMP128: Simulation des Mikroprozessors in dem Programm FFTMP128	59
4.11	PDP12-Programm SIMMP256: Simulation des Mikroprozessors in dem Programm FFTMP256	60
4.12	PDP12-Programm ONLOFFL: Umspeicherung von on-line-Daten für die off-line-Bearbeitung	60
4.13	PDP12-Programm FORM128: FFT für die Kriterien-gewinnung in Abschnitt 2.2.3	60
5.	<u>Diskussion der Ergebnisse</u>	61
6.	<u>Zusammenfassung</u>	63
7.	<u>Literaturverzeichnis</u>	64
<u>Anhang A: Beschreibung der Hardware</u>		68
	Interface zwischen der PDP12 und dem Mikroprozessor	68
	Analog-Digital-Wandler für den Mikroprozessor	77
<u>Anhang B: Ausdrucke von zwei in Abschnitt 4. beschriebenen Programmen</u>		81
	FFTMP128	81

MPINT128	100
<u>Anhang C</u> : Schaltpläne der in Anhang B beschriebenen Hardware	
Interface zwischen PDP12 und dem Mikroprozessor	103
Analog-Digital-Wandler für den Mikroprozessor	104
<u>Anhang D</u> : Auswerte-Tabellen für die Beispiele 1 - 40	105
<u>Anhang E</u> : Bilder der Beispiele 1 - 40	107

Erklärung von im Text verwendeten Abkürzungen

AC: Akkumulator: Hauptrechenregister eines Computers

AD-Wandler: Analog-Digital-Wandler

EEG: Elektro-Encephalogramm

FFT: Fast Fourier Transform (schnelle Spektralzerlegung)

H: high: bezeichnet einen Zustand, bei dem eine Leitung mit
hoher Spannung (hier ca. 4 Volt) beaufschlagt ist

Hz: Einheit der Frequenz in 1/s

IM6100: Das in der Arbeit verwendete Mikroprozessorsystem

INT: Integral um das Maximum, s. S.15

k: Arbeitsspeichergröße: 1k entspricht 1024 Maschinen-
worten Speicherfähigkeit

L: low: bezeichnet einen Zustand, bei dem eine Leitung mit nie-
driger Spannung (hier ca. 0.2 Volt) beaufschlagt ist

LP2: Absolute Latenzzeit von P2, s. S. 21

LN1: Absolute Latenzzeit von N1, s. S. 21

MAX: Frequenz des Maximalwertes, s. S.15

MAXWRT: Maximalwert, s. S.15

ms: Millisekunde: 10^{-3} Sekunden

MW: Mittelwert der Spektralwerte eines Frequenzbereichs, s. S.15

s: Mikrosekunde: 10^{-6} Sekunden

N1: erste, vertex-negative Komponente des gemittelten evozier-
ten Potentials

ODT: Monitorprogramm des Mikroprozessors

P1: erste, vertex-positive Komponente des gemittelten evozierten Potentials im Abstand von ca. $16-60 \mu\text{s}$ vor dem Reiz

P2: zweite Komponente im Abstand von ca. 200 ms

P3: dritte positive Komponente in Abstand von ca. 300 ms

PDP12, PDP15 Laborrechnerfabrikate der Digital Equipment Corporation

P2N1, P2 - N1: absolute Amplitudendifferenz von P2 und N1, s. S.21

QLN1: relative Latenzzeitverschiebung von N1, s. S.20

QLP2: relative Latenzzeitverschiebung von P2, s. S.20

QP2N1: relative Amplitudenüberhöhung von P2N1, s. S.20

s: Sekunde

S: Sinus, s. S.22

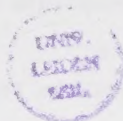
S+L: Sinus und Lärm, s. S.22

S+R: Sinus und Rechnen, s. S.22

SP: Speicherzelle

t: Bezeichnung für die Zeitvariable auf der Zeitachse

V: Volt



1. Einleitung

Das EEG (Elektroencephalogramm) stellt ein Verfahren dar, bei dem mit einer Oberflächenelektrode von der intakten Schädeldecke die Potentialschwankungen registriert werden, die aus Überlagerungen der elektrischen Aktivität des gesamten Gehirns entstehen. Zu dieser Aktivität leisten folgende Strukturen bzw. Phänomene einen Beitrag /8/:

- a) Aktionspotentiale in afferenten Nerven (hauptsächlich bei synchroner Auslösung)
 - b) lang dauernde Potentiale an synaptischen Endigungen dieser Nerven
 - c) lokale postsynaptische Potentiale
 - d) durch Kalium-Ionen verursachte Depolarisationen von Gliazellen
 - e) Eigenschaften der extrazellulären Gewebsstruktur
- Überlagert wird dieses EEG durch Potentiale, die durch Störungen wie Muskelaktionspotentiale oder Änderungen des Hautwiderstandes entstehen.

Nun kann man den Einfluß der Reizung des auditiven Sinneskanals auf das EEG untersuchen, indem man einen definierten Schallreiz (Click, Sinuston) auf das Gehör einwirken läßt, und alle anderen Reize möglichst ausschließt (Schalltoter Raum, Dunkelheit usw.).

Hierbei zeigt es sich, daß sich aus der reizsynchronen Ein-

zelantwort des EEG keine sichere Aussage machen läßt bezüglich einer Auswirkung des Schallreizes auf das EEG. Man kommt trotzdem zu einer qualifizierten Aussage, indem man z.B. ein Mittelungsverfahren anwendet:

Man läßt den definierten Schallreiz mehrmals auf das Gehör einwirken und addiert jeweils den reizsynchronen EEG-Abschnitt auf den vorhergehenden auf: Man erhält ein gemitteltes evoziertes Potential (Abb. 1.-1) als spezifische Erregungsgröße der akustischen Bahnen und des akustischen Hirnrindenareals.



Abb. 1.-1 Beispiel eines gemittelten evozierten Potentials
Reizzahl = 100, Reizart 985 Hz-Sinus 300 ms Dauer,
 t_0 = Reizbeginn. Ableitungsort: Vertex gegen
Mastoid; negativ nach unten

Bei den Reizbedingungen wie im obigen Beispiel ergeben sich folgende typische Amplitudenschwankungen des evozierten Potentials in dem betrachteten Zeitintervall (/9/S.148):
Eine kleine und variable Komponente im Zeitabstand 16-60 ms (P1) nach Reizbeginn, eine Vertex-negative Welle mit einer

Latenzzeit des Gipfels von ungefähr 100 ms (N1), eine zweite positive Welle mit einer ungefähren Latenzzeit von 200 ms (P2) und eine dritte positive Welle vor allem nach irregulären Reizen bei 300 ms (P3). In dieser Arbeit werden vor allem die Gipfel N1 und P2 betrachtet: die sogenannten langsamen Komponenten. Die Spontanaktivität des EEG überlagert das durch den Reiz ausgelöste evozierte Potential mit einem Signal-Geräuschspannungsabstand von 1:5 bis 1:10 /8/.

Die Anwendung des Mittelungsverfahrens ist an bestimmte Bedingungen geknüpft /8/: Stationarität des EEG, die Abschnitte der EEG's sollen unkorreliert sein und die Latenz sowie die Form des in der Störung verborgenen evozierten Potentials sollen konstant sein.

Diese Bedingungen sind jedoch im allgemeinen nicht immer erfüllt, vor allem gibt es Änderungen der Stationarität durch z.B. Ermüdung, Reizerkennung, Aufmerksamkeitszuwendung usw.. Diese Variabilitäten des Zustandes der Versuchsperson bzw. des Patienten werden als Vigilanz bezeichnet. Dadurch und bei bestimmten Versuchsbedingungen können die Latenz und Form so stark schwanken, daß das Ergebnis mit zunehmender Zahl der Mittelungsschritte nicht deutlicher, sondern stärker verschmiert wird und sogar wieder ganz verschwinden kann /8/ /10/.

Aus diesem Grund wurden mehrere Verfahren entwickelt, um das gemittelte evozierte Potential exakter ermitteln zu

können: Nichtstationäre Artefakte, die z.B. durch Muskelaktivität entstanden sind, und Latenzzeitvariabilitäten können erkannt werden durch eine Methode, die sogenannte Differenz-Amplitudenhistogramme verwendet /11/ /12/.

Damit ist es möglich, in einer zweiten Aufarbeitung der reizsynchronen evozierten Potentiale nur diejenigen zur Mittelwertbildung zu verwenden, die weitgehend frei von Artefakten sind /13/.

Eine ähnliche Methode benutzt eine Kreuzkorrelation mit einem nicht-rekursiven adaptiven digitalen Filter, wobei das Ergebnis benutzt wird, um die Latenzzeitverschiebungen des jeweiligen evozierten Potentials vorab zu berücksichtigen und die Mittelung dann entsprechend zeitverschoben vorzunehmen /14/ /10/.

Einer weiteren Methode, die in der folgenden Arbeit behandelt werden soll, liegt der Gedanke zugrunde, daß die begleitende EEG-Hintergrundaktivität einen groben Indikator für die Vigilanzlage darstellt. So müßte es möglich sein, diejenigen reizsynchronen EEG-Abschnitte zu erkennen, welche gleichartig zum evozierten Potential etwas beitragen bzw. bei welchen eine Latenzverschiebung vorliegt, da die Vigilanzlage das evozierte Potential nicht unbeeinflußt läßt /8/. Praktisch geht man dabei so vor, daß man aus dem, den reizsynchronen EEG-Abschnitt umgebenden EEG einen Rechner ein Kriterium errechnen läßt, nach welchem die einzelnen EEG-Abschnitte in getrennte Untergruppen gemittelt werden

(klassifizierte Mittelung). Zum Zwecke der Datenreduktion wird dabei von den EEG-Abschnitten je ein Leistungsspektrum berechnet, aus welchem wiederum das Kriterium zur getrennten Mittelung mit Hilfe einer zweiten Datenreduktion bestimmt wird. Zur Anwendung kommen dabei Parameter wie Aktivität, Mobilität und Komplexität /15/ /16/ /17/ oder die Verschiebetendenz relativer Gipfel im EEG-Leistungsspektrum /18/.

Diese bisher angewandten Verfahren hatten den Nachteil, daß sie lange interaktive Phasen hatten, so daß die Klassifizierung eines evozierten Potentials viel Zeit in Anspruch nahm. Außerdem konnten diese Verfahren nicht an dem vorhandenen Laborrechner PDP12, der die EEG-Daten aufnahm, durchgeführt werden, da der Rechner eine zu geringe Speicherkapazität hat. Es können auch keine längeren Programme höherer Programmiersprachen mit dem Laborrechner verarbeitet werden. So mußten die Daten erst umgesetzt und damit bearbeitbar für größere Rechner (PDP15, Cyber) gemacht werden. Aus diesen Nachteilen ergab sich die Aufgabenstellung für die folgende Arbeit. Es sollte ein Verfahren zur Klassifizierung von EEG-Potentialen nach den Leistungsspektren entwickelt werden, welches auf dem vorhandenen Laborrechner durchführbar ist. In einem zweiten Schritt sollte dann diese Klassifizierung on-line erfolgen, also während des Versuchs, d.h. es sollte gleichzeitig stattfinden die Aufzeichnung des Versuchs, die Berechnung der Spektren und die

Klassifizierung. Da hierfür der Rechner PDP12 nicht genug Kapazität hatte, sollte zur Beschleunigung des Rechenvorgangs ein Mikroprozessor eingesetzt werden, d.h. beide Rechner parallel laufen. Dazu war ein PDP12-Mikroprozessor IM6100 -Interface zu entwickeln, sowie zur Dateneingabe ein Analog-Digital-Wandler-Interface für das Mikroprozessorsystem IM6100. Ferner war die gesamte Software zu erstellen für die on-line- und off-line-Klassifizierung.

2. Methode der Klassifizierung von EEG-Signalen

2.1 Klassifizierung der EEG-Signale

Die Grundlage des Kriteriums für die getrennte Mittelung der EEG-Potentiale bildet bei dieser Methode zunächst der einfache Betrag des EEG-Spektrums in dem Zeitraum des jeweiligen reizsynchronen EEG-Abschnitts. Dabei wird im allgemeinen ein EEG-Bereich betrachtet, der mit dem Reiz beginnt und bis 1.536 s danach andauert. Dieser Bereich wurde deshalb in dieser Größenordnung gewählt, da zum einen in einer so kurzen Zeit das EEG genügend nicht-stationär ist, um im Spektrum so große Veränderungen erkennbar zu machen (gegenüber den Vor- und Nachspektren), daß sich daraus klare Kriterien für die getrennte Mittelung herleiten lassen. Zum anderen ist dann die Zeit so lang, daß die Frequenzauflösung im niedrigen Frequenzbereich bis 5 Hz noch genügend hoch ist, um die scharfen Maxima in ausreichender Auflösung darstellen zu können (s. Abb. 2.1-1).

Diese Spektralanalyse wird mit der FFT (Fast Fourier Transform = schnelle Fouriertransformation) durchgeführt, und zwar im allgemeinen 100 mal pro Messung eines evozierten Potentials, da in einem Versuch jeweils ein gemitteltes evoziertes Potential aus 100 reizsynchronen EEG-Abschnitten

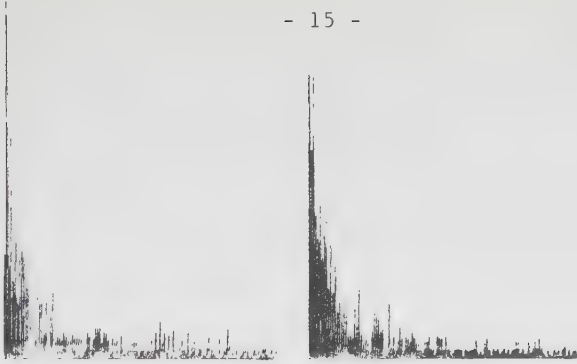


Abb.2.1-1 Beispiel zweier aufeinanderfolgender EEG-Leistungsspektren über einen EEG-Bereich von 1.536 s (Abstand 1.8 s)

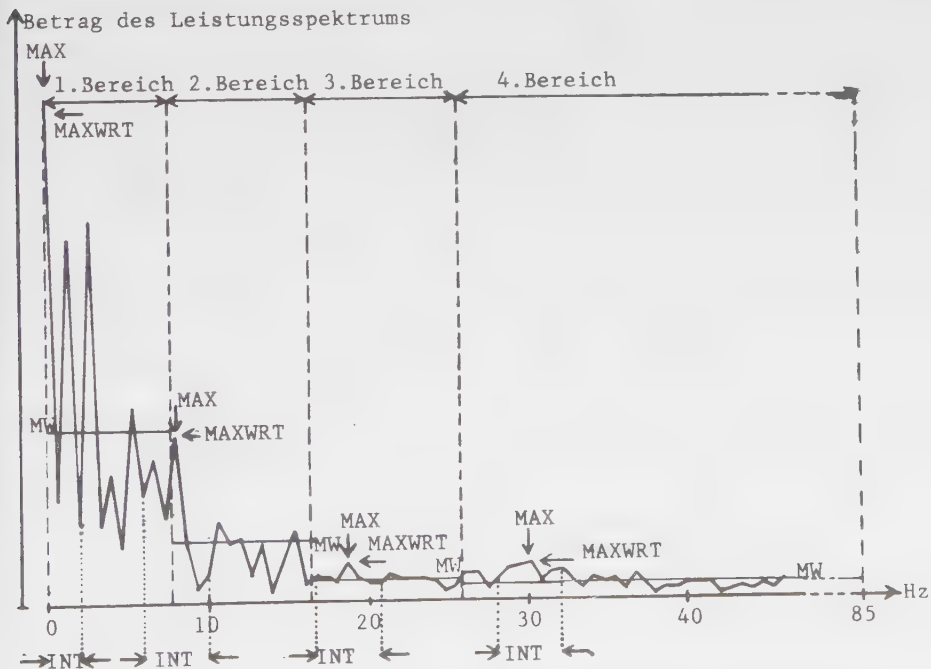


Abb.2.1-2 Darstellung der berechneten Parameter (Beispiel) in den 4 Frequenzbereichen, die Integration erfolgt über einen Bereich von ± 2 Hz um den Maximalwert;
 MAX = Frequenz des Maximalwerts, MAXWRT = Maximalwert,
 MW = Mittelwert der Spektralwerte eines Frequenzbereichs,
 INT = Integral um das Maximum

gebildet wird. In einem zweiten Schritt wird jedes Spektrum in 4 Frequenzbereiche unterteilt, die vorher willkürlich gewählt werden können (Abb. 2.1-2).

In einem dritten Schritt bestimmt der Rechner jeweils in diesen 4 Frequenzbereichen 4 Parameter: Die Frequenz des maximalen Spektralwertes (MAX), die Höhe des Maximalwertes (MAXWRT), einen Integralwert (INT) mit willkürlich wählbarer Breite um den Maximalwert, sowie den Mittelwert (MW) des Spektrums in dem ganzen betrachteten spektralen Teilbereich. Dies ergibt 16 Werte je Spektrum, somit 1600 Werte je Versuch. Diese 1600 Werte werden so abgespeichert, daß jeweils die 100 Maximalfrequenzen in einem 1.Speicherbereich, die 100 Maximalwerte in einem 2.Speicherbereich usw. zusammen sequentiell abgespeichert werden. Es ergeben sich 16 Speicherbereiche mit je 100 sequentiellen Werten; diese 100 Werte repräsentieren die tendentielle Entwicklung eines Parameters in einem bestimmten Spektralbereich über die Versuchsdauer. Die Versuchsdauer entspricht der 100-fachen Zeit zwischen zwei Reizabschnitten (Abb. 2.1-3): im Mittel ca. 200 s. Zur Klassifizierung, d.h. zur getrennten Mittelung der reizsynchronen EEG-Abschnitte, legt man sich auf einen der 16 Parameter mit seinem zugehörigen Spektralbereich fest und betrachtet den entsprechenden Speicherbereich mit den 100 Werten. Für diese 100 Werte werden als nächstes Klassifikationsschranken festgelegt, die diese 100 Werte entsprechend ihres numerischen Wertes in 3 oder in

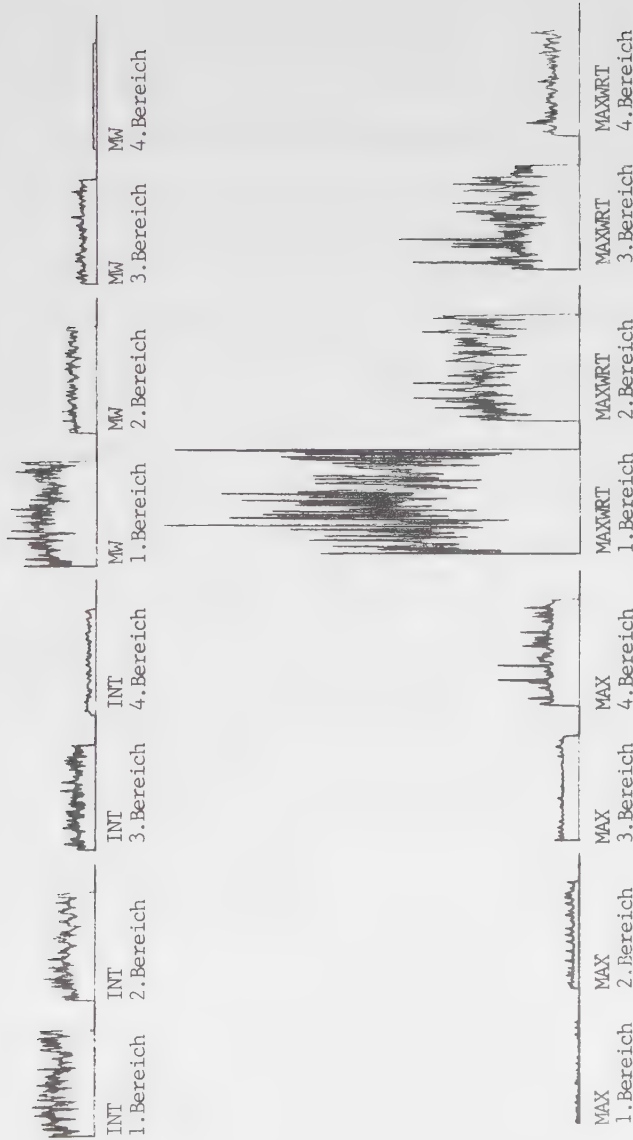


Abb.2.1-3 Sequentielle Darstellung der berechneten Parameter für einen Versuch

(Beispiel: Versuchsdauer 180 s, 1.Bereich=0-3.3 Hz, 2.Ber.=3.3-10 Hz, 3.Ber.=10-20 Hz, 4.Bereich=20-83 Hz)

2 Bereiche unterteilen. Die Bestimmung der Klassifikations-schranken erfolgt bei der off-line-Klassifizierung in einer interaktiven Phase des Programms im Dialog mit dem Benutzer (s. Softwarebeschreibung im Abschnitt 4.), wobei bis zu 3 Bereiche mit 2 willkürlich gewählten Klassifikations-schranken gebildet werden können. Bei der on-line-Klassifi-zierung wird vom Programm das arithmetische Mittel der 100 Werte berechnet und als Klassifikationsschranke bestimmt, sodaß 2 Bereiche entstehen, in denen sich jeweils unge-fähr 50 Werte befinden. Ein Beispiel für eine Unterteilung in 3 Bereiche bei der off-line-Klassifizierung zeigt Abb.2.1-4:

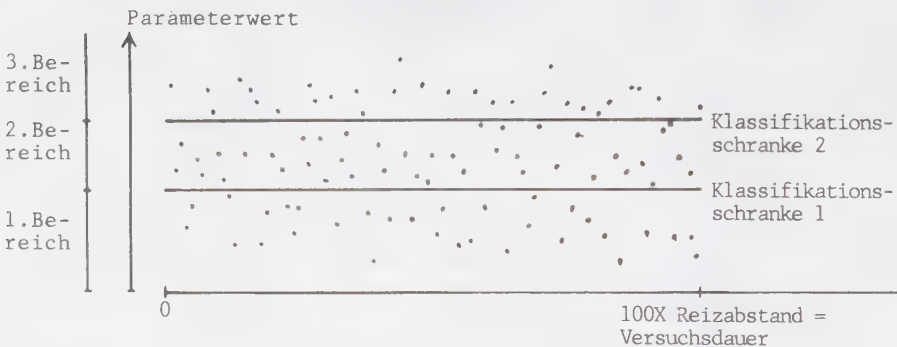


Abb.2.1-4 Darstellung eines Parameters für 1 Versuch und der Einteilung in 3 Bereiche

Da jeder Punkt zu einem der 100 Spektren und somit zu einem der 100 reizsynchronen EEG-Abschnitte gehört, wird zur getrennten Mittelung in 3 bzw. 2 Klassen folgender-

maßen verfahren: Ist der Wert des zu einem EEG-Abschnitt gehörigen Parameters kleiner als die Klassifikationsschranke 1, wird der EEG-Abschnitt in die 1.Klasse gemittelt, ist er kleiner als die Klassifikationsschranke 2, wird der EEG-Abschnitt in die 2.Klasse gemittelt, sonst wird der EEG-Abschnitt in die 3.Klasse gemittelt. Dies wird für jeden der 100 Werte vom Laborrechner durchgeführt, so daß in jeder Klasse dann die Anzahl von Mittelungen erfolgt ist, wie es vom Benutzer in der interaktiven Phase des Programms vorgesehen wurde. Bei der automatischen on-line-Klassifizierung wird in einem entsprechenden Verfahren in nur 2 Klassen gemittelt. So ergibt dann die entsprechend der Anzahl der Mittelungen gewichtete Summe der Klassenmittel wieder das Gesamtmittel (Abb.2.1-5).

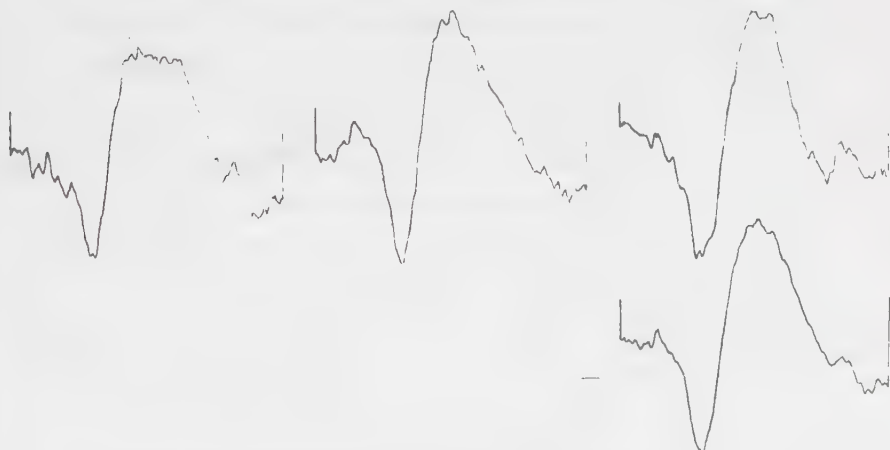


Abb.2.1-5 Beispiel der Mittelung in 3 Klassen und das Gesamtmittel, negativ nach unten

2.2 Ergebnisse der Klassifizierung

2.2.1 Beurteilungskriterien für die klassifizierten Potentiale

Die Auswertung der verschiedenen gemittelten Potentiale erfolgt hauptsächlich nach den folgenden 3 Werten:

- a) Amplitudendifferenz P2 - N1
- b) Latenzzeit N1 - Gipfel
- c) Latenzzeit P2 - Gipfel

Aus diesen 3 Werten jeweils der einzelnen klassifizierten gemittelten Potentiale werden im Vergleich mit den entsprechenden 3 Werten des Gesamtmittels 3 Quotienten gebildet:

- a) die relative Amplitudenüberhöhung $QP2N1 =$

$$((P2-N1)_{\text{klassifiziertes Potential}}) / ((P2-N1)_{\text{Ges.Mitt}})$$

- b) die relative Latenzzeitverschiebung $QLN1 =$

$$(\text{Latenzzeit } N1_{\text{klassif.Pot.}}) / (\text{Latenzzeit } N1_{\text{Ges.Mitt}})$$

- c) die relative Latenzzeitverschiebung $QLP2 =$

$$(\text{Latenzzeit } P1_{\text{Klassif.Pot.}}) / (\text{Latenzzeit } P1_{\text{Ges.Mitt}})$$

Die Amplitudenhöhen sind deshalb vergleichbar, weil die Mittelung in die einzelnen Klassen und in das Gesamtmit-
tel in der Weise erfolgt, daß die reizsynchronen EEG-
Abschnitte zunächst aufaddiert werden, und das erhaltene
Potential dann durch die Anzahl der EEG-Abschnitte dividiert
wird, aus denen es entstanden ist.

Anhand dieser 3 Quotienten läßt sich dann eine Aussage machen, ob die einzelnen in dem jeweiligen klassifizierten Potential enthaltenen EEG-Abschnitte "durchschnittlich" den erwarteten Beitrag zum Gesamtmittel leisten (alle 3 Quotienten müssen dann ungefähr gleich 1 sein), ob ein "überdurchschnittlicher" Amplitudenbeitrag geliefert wird ($QP2N1 > 1$, $QLN1 = QLP2 \approx 1$), ob das Gesamtmittel durch Latenzschwankungen beeinflusst wird ($QLN1 \neq 1$, $QLP2 \neq 1$) usw.. Die Abb.2.2-1 zeigt in 2 Beispielen, auf welche Weise die einzelnen Potentiale ausgewertet wurden. Im linken Beispiel lassen sich die Werte für die Latenzzeiten und die Amplitudendifferenz direkt der Kurve entnehmen. Dies war vor allem möglich bei der Auswertung der Gesamtmittel. Bei stärker gestörten Potentialen, wie im rechten Beispiel, wurde von Hand eine ungefähre Mittellinie eingezeichnet, aus der dann die entsprechenden Werte ermittelt wurden. Die auf diese Art erzielten Meßwerte sind demnach nur bis auf ungefähr 5% Genauigkeit bestimmt, was bei der Diskussion der Ergebnisse zu beachten ist.

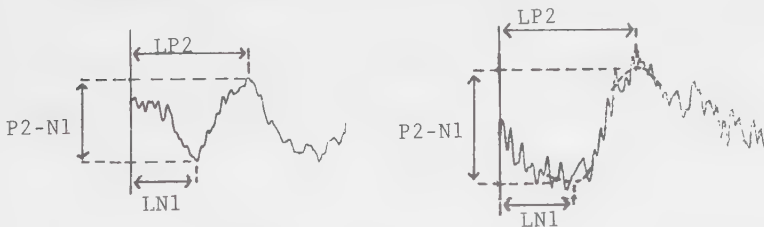


Abb.2.2-1 2 Beispiele für die Auswertung von
evozierten Potentialen

2.2.2 Beispiel

Angewendet wurde die Methode der Klassifizierung auf evozierte Potentiale, die wie folgt gewonnen worden waren:

Reizzahl: 100 Reizart: Sinus 985 Hz

Reizabstand: ca. 1.8 s Reizort: rechtes Ohr

Reizdauer: 300 ms, beginnend jeweils 10 ms nach dem Triggerimpuls

Zusätzlich wurden auf das andere Ohr eine Störung in Form von Autolärm (65 dB(A)) gegeben oder die Versuchsperson aufgefordert, auf einem Display im Versuchsraum dargestellte Rechenaufgaben zu lösen. Dies ergab 3 Versuchsarten, die in einer Sitzung nacheinander zur Anwendung kamen:

- a) nur Sinus: S
- b) Sinus und Lärm: S+L
- c) Sinus und Rechnen: S+R

Als Ausgangspunkt für die Beurteilung der verschiedenen durch Klassifizierung erhaltenen evozierten Potentiale wurde zunächst eine willkürliche Klassifizierung betrachtet:

Von den 100 reizsynchronen EEG-Abschnitten wird jeder 1., 4., 7., ... , 97., 100. Abschnitt in die 1.Klasse gemittelt, jeder 2., 5., 8., ... , 95., 98. Abschnitt in die 2.Klasse und jeder 3., 6., 9., ... , 96., 99. Abschnitt in die 3.Klasse gemittelt.

Die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse sind in den

Beispielen 1-12 dargestellt. (Die Bilder der einzelnen Beispiele und ihre Auswertung sind jeweils immer im Anhang D und E zu finden) Hierbei wurden 4 Versuchspersonen ausgewertet in den Reizarten S, S+L und S+R. Es zeigt sich, daß die relativen Latenzzeitverschiebungen nahezu vollständig in der Meßgenauigkeit liegen, auch interindividuell weist die Latenzzeit bei den verschiedenen Reizbedingungen nur ähnlich geringe Schwankungen auf, zudem ist deren Richtungstendenz bei den verschiedenen Versuchspersonen uneinheitlich. Auch intraindividuell bestehen geringe Unterschiede.

Die relative Amplitudenüberhöhung jedoch zeigt bei allen Versuchspersonen Schwankungen deutlich über der Meßgenauigkeit, um bis zu 30%. Dies betrifft sowohl die Änderung von QP2N1 zwischen den einzelnen Klassen als auch die Änderung der absoluten Größe von P2N1 zwischen den Gesamtmitteln einer Versuchsperson bei den verschiedenen Reizbedingungen. Letztere Aussage läßt sich deshalb machen, weil die jeweils 3 Gesamtmittel einer Versuchsperson immer in einer Sitzung unter sonst identischen äußeren Bedingungen bestimmt wurden. Da diese Bedingung für Vergleiche zwischen einzelnen Versuchspersonen nicht erfüllt ist, kann man die absolute Größe von P2N1 interindividuell nicht zur Beurteilung heranziehen.

Die Schwankungen selbst sind bei den einzelnen Versuchspersonen völlig uneinheitlich, so daß z.B. Aussagen, daß die Schwankungen von QP2N1 bei der Reizart S+L besonders

groß sind, an diesem Punkt nicht möglich sind.

Eine zunächst spekulative Erklärungsmöglichkeit für die großen Schwankungen von QP2N1 könnte darin liegen, daß die Amplitude des verborgenen evozierten Potentials im reizsynchronen EEG großen Schwankungen unterworfen ist und daß ungefähr jedes 10. reizsynchrone EEG eine besonders große bzw. kleine Amplitudenschwankung aufweist.

Je nachdem, in welche Klasse diese jeweils etwa 10 EEG's fallen, wird die Gesamtamplitude dieser Klasse im Verhältnis zur Gesamtamplitude des Gesamtmittels besonders stark verändert. Ein Versuch, diese EEG's mit der hier angewendeten Methode zu erkennen, wird in Abschnitt 2.2.3 beschrieben.

Die Entwicklung der Methode der Klassifizierung von EEG-Signalen nach Kriterien, die sich ergeben aus dem Spektrum des EEG's in der zeitlichen Umgebung des Reizes, ging von der Annahme aus, daß die Latenzen und die Amplituden des reizsynchronen verborgenen evozierten Potentials korreliert sind mit der Vigilanz der Versuchsperson und daß sich diese wiederum aus dem Spektrum ermitteln läßt. Da somit zunächst eine konkrete Vorstellung fehlte, wie und in welchem Frequenzbereich des Spektrums sich die Vigilanz ausdrückt, wurden zunächst bei einer Versuchsperson in einer systematischen, unspezifischen Suche in den unterschiedlichsten Frequenzbereichen die Parameter nach der in 2.1 beschriebenen Methode berechnet, dann wurde klassifiziert gemittelt.

Die Auswertung dieser mehreren hundert klassifizierten Potentiale ergab im allgemeinen keine größere Änderung der Auswertequotienten als bei der willkürlichen Klassifizierung. Deshalb wurden auch allgemeine, qualitative Formkriterien mit zur Auswertung herangezogen. Vier Beispiele für qualitativ stärker veränderte klassifizierte Potentiale zeigen die Beispiele 13-16 (s.Anhang). Wie aus der quantitativen Auswertung (s.Anhang) ersichtlich, liegen die Schwankungen in dem gleichen Größenbereich wie bei der willkürlichen Klassifizierung. Dies bestätigte sich auch bei den anderen untersuchten Versuchspersonen. Deshalb wurde noch der Versuch gemacht, nicht mehr mindestens 20 verborgene evozierte Potentiale in jede Klasse zu mitteln, wie bei der ursprünglichen Auswertung, sondern erheblich weniger. Wie in Beispiel 17 zu sehen, lassen sich Beispiele finden, in denen bei der Mittelung von 10 EEG's sich ein QP2N1 von mehr als 1.3 oder kleiner als 0.7 bestimmen läßt, dies liegt jedoch auch in der Schwankung von QP2N1 bei der willkürlichen Mittelung, nämlich ca. 30%. Da die Größe der zur Auswertung herangezogenen Quotienten bei allen Klassifizierungen nach dem Spektrum im Rahmen der Größen der Quotienten bei der willkürlichen Mittelung schwankt, stellt sich die Frage, ob die Ergebnisse von der Art der verwendeten Auswertung abhängen, oder selbst auch zufällig entstehen. Soll ersteres zutreffen, so ist zu fordern, daß die beobachteten Veränderungen bei nahe-

zu allen Versuchspersonen in gleichartiger Weise in der gleichen Klasse auftreten müssen. Dafür fanden sich Hinweise bei den untersuchten 8 Versuchspersonen lediglich bei der Reizart S, als Klassifizierungskriterium wurde der Mittelwert des Spektrums im Bereich 6.6 - 10 Hz verwendet, wo sich eine Erhöhung von QP2N1 in der 3.Klasse bei allen Versuchspersonen zeigte.(s. Beispiele 18-25) Diese Ergebnisse erlauben noch keinen Schluß auf die Aussagefähigkeit der verwendeten Methode, die evozierten Potentiale exakter ermitteln zu können.

Zum einen ist die Zahl der Versuchspersonen zu klein, um statistisch gesicherte Aussagen machen zu können. Zum anderen bestehen sicher mehrere hundert Möglichkeiten, mit der verwendeten Methode ein evoziertes Potential sinnvoll zu klassifizieren. Bezieht man noch die Möglichkeit mit ein, in jede Klasse unterschiedlich viele reiz-synchrone EEG's zu mitteln, stößt man schon bei den untersuchten 8 Versuchspersonen mit jeweils 3 Reizarten schnell an eine zeitliche Grenze einer Auswertung der Potentiale. Eine automatische Auswertung wurde jedoch nicht entwickelt, da ein derartiges Programm an dem verwendeten Laborrechner nicht zu realisieren gewesen wäre, außerdem fand sich bei den immerhin mehreren hundert untersuchten Klassifizierungen kein Hinweis, daß ein solches Verfahren bei dieser Versuchsanordnung sinnvoll wäre.

2.2.3 Versuche zur Kriteriengewinnung aus dem verborgenen evozierten Potential

Im Abschnitt 2.2.2 wurden die Probleme und die Ergebnisse einer unspezifischen Suche nach einer sinnvollen Klassifizierung der evozierten Potentiale dargestellt. In diesem Abschnitt wird nun versucht, die durchzuführenden Klassifizierungen mit Hilfe einer bestimmten Hypothese auf nur wenige einzuschränken und diese dann für alle Versuchspersonen zu untersuchen.

Hierbei wird nicht mehr von der Vigilanz der Versuchsperson ausgegangen, d.h. dem EEG in der "zeitlichen" Umgebung des Reizes, sondern von dem kleineren Abschnitt des reizsynchrone EEG's selbst. Es wird nicht mehr das Spektrum der 1536 ms des EEG's nach dem Reiz gebildet, sondern das der ersten 384 ms des EEG's nach dem Reiz. In diesem Abschnitt sind die beiden bestimmenden Komponenten des evozierten Potentials bei der untersuchten Versuchsanordnung gerade vollständig enthalten (s. Abb.1.-1).

Die Hypothese geht davon aus, daß es möglich ist, das Spektrum des reizsynchrone EEG's auf seine Ähnlichkeit mit dem Spektrum des Gesamtmittels zu untersuchen, und danach dann klassifiziert zu mitteln.

So wird in einem ersten Schritt zunächst das Spektrum des Gesamtmittels berechnet (s. Abb.2.2-2). Bedingt durch das kurze Zeitintervall (384 ms) und die geringe Zahl von

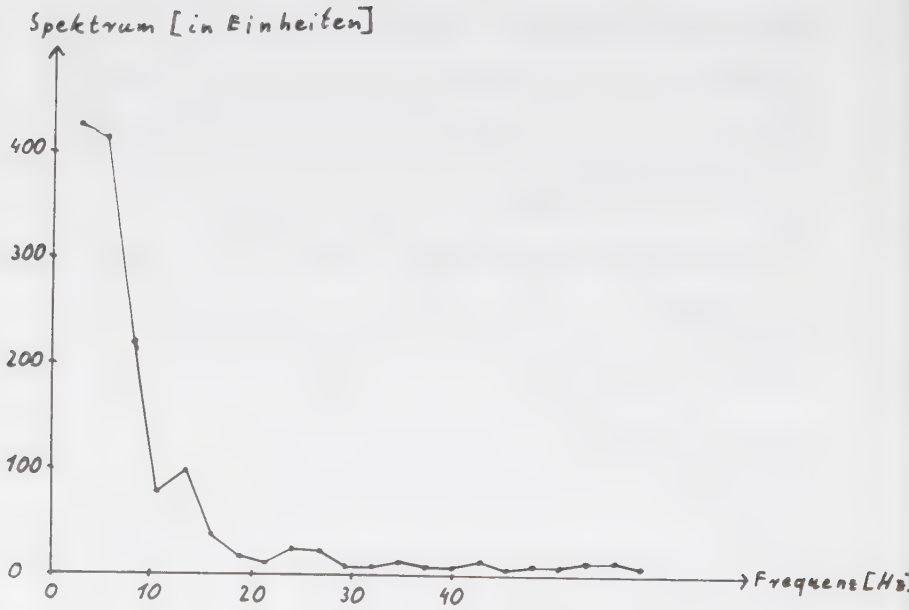


Abb.2.2-2 Spektrum eines Gesamtmittels (Versuchsperson C.P.,
Reizart S)

Abtastwerten (256) ergibt sich in diesem Beispiel eine verhältnismäßig grobe Frequenzauflösung von 2.68 Hz. Von diesem Spektrum des Gesamtmittels werden sodann die Frequenzen der relativen Maxima bestimmt, in dem Beispiel von Abb.2.2-2 2.68 Hz, 13.33 Hz und 24 Hz. Zur klassifizierten Mittelung werden dann die Spektren der einzelnen reiz-synchronen EEG's bei einer dieser Frequenzen untersucht: Ist der Wert des Spektrums eines reizsynchronen EEG's an dieser Stelle besonders niedrig im Verhältnis zu den Werten der anderen Spektren der anderen reizsynchronen EEG's an dieser Frequenz, wird der zu diesem Spektrum gehörende reizsynchrone Abschnitt in die 1.Klasse gemittelt, ist er besonders hoch, wird er in die 3.Klasse gemittelt; die übrigen reizsynchronen EEG's werden in die 2.Klasse gemittelt. Hierbei kann der Benutzer in der interaktiven Phase des Programms festlegen, wie viele reizsynchrone EEG's jeweils in die einzelnen Klassen nach dieser Vorschrift gemittelt werden sollen.

Wenn die obige Hypothese sinnvoll sein soll, dann muß immer dann, wenn das Spektrum eines reizsynchronen Abschnitts bei einem Maximalwert des Gesamtmittelspektrums einen besonders hohen Wert aufweist, das zugehörige EEG einen besonders hohen Beitrag zum Gesamtmittel liefern, d.h. in der 3.Klasse muß sich immer eine Amplitudenüberhöhung (QP2N1 größer als 1) ergeben.

Dies erwies als richtig bei allen 8 Versuchspersonen und

jeweils den 3 Reizarten nur dann, wenn die Frequenz des ersten relativen Maximums des Gesamtmittels zur Grundlage des klassifizierten Mittelungsverfahrens gemacht wurde:

In den Beispielen 26-33 (Bilder und Auswertung s. Anhang) wird dies für alle 8 Versuchspersonen bei der Reizart S gezeigt. Es ergeben sich Quotienten $QP2N1$ zwischen 1.07 und 4.04 für die 3.Klasse. Diese Amplitudenüberhöhung immer in der 3.Klasse tritt umso deutlicher hervor, je weniger Spektren in die 3.Klasse gemittelt werden:

In den Beispielen 34-37 werden bei immer dem gleichen evozierten Potential zunächst 49 reizsynchrone EEG - Abschnitte in die 3.Klasse gemittelt ($QP2N1=1.42$), dann 27 Abschnitte ($QP2N1=1.85$), dann 8 Abschnitte ($QP2N1=2.33$) und zuletzt nur 1 Abschnitt ($QP2N1=5.09$).

Somit liefert dieser eine letzte reizsynchrone EEG-Abschnitt einen 5-fach überdurchschnittlichen Beitrag zum Gesamtmittel. Dies könnte theoretisch natürlich auch eine Störung sein, wenn diese Störung genau die Frequenz enthält, nach der klassifiziert wurde.

Somit scheint es möglich und sinnvoll zu sein, aus den reizsynchrone EEG-Abschnitten diejenigen zu finden und getrennt zu mitteln, die die Grundwelle des Gesamtmittels besonders energiereich im Verhältnis zu den anderen reizsynchrone Abschnitten enthalten, trotz eines Signal-Geräuschspannungsabstandes von 1:5.

Nun ließe sich noch vermuten, daß wenn in der 3.Klasse QP2N1 immer erhöht ist, in der 1.Klasse QP2N1 immer erniedrigt sein müßte. Dies ist jedoch nur bei ungefähr der Hälfte der Versuchspersonen der Fall, warum kann zur Zeit nicht erklärt werden.

Wenn man die 2. und 3.Maxima des Spektrums des Gesamtmittels zur Grundlage des Klassifizierungsverfahrens macht, ergibt sich keine einheitliche Amplitudenüberhöhung in einer der 3 Klassen. Wahrscheinlich spielen diese Frequenzen für das evozierte Potential deshalb keine Rolle, weil der Betrag des Spektrums bei diesen Frequenzen um den Faktor 4-10 kleiner ist als der Betrag des Spektrums bei dem 1.Maximum: Die Frequenzen des 2. und 3.Maximums zwischen 10 Hz und 30 Hz tragen für die langsamen Komponenten des evozierten Potentials nur wenig bei (s.Abb.2.2-2).

Des weiteren lagen auch bei diesen Untersuchungen die Latenzzeitvariabilitäten im allgemeinen innerhalb des Meßfehlers und waren bei den einzelnen Klassifizierungsschemata inter- und intraindividuell nicht einheitlich, so daß zu vermuten ist, daß bei der verwendeten Versuchsanordnung Latenzzeitverschiebungen für das Zustandekommen der Form des Gesamtmittels keine besondere Rolle spielen.

3. On-line-Klassifizierung mit dem Rechner PDPl2 und dem Mikroprozessor IM6100

3.1 Veränderung der Klassifizierungsbedingungen gegenüber der off-line-Klassifizierung

Für eine on-line-Klassifizierung mit einem Digitalrechner ist es erforderlich, daß die Analog-Digital-Wandlung, die Spektralzerlegung und die Klassifizierung der EEG-Abschnitte gleichzeitig erfolgen bzw. stark beschleunigt ablaufen. Dies wird deshalb erforderlich, weil bei einer einfachen Aneinanderreihung der bisherigen Rechenschritte zur Klassifizierung sich die Zeit für die Bearbeitung eines reiz-synchronen EEG-Abschnitts auf ca. 50 s summieren würde, somit bei z.B. 5 x 100 Abschnitten pro Versuch sich eine Versuchszeit von für eine Versuchsperson unzumutbaren 7 Stunden ergeben würde. Angestrebt und auch erreicht wurde eine Reduktion der Rechenzeit für einen Abschnitt auf ca. 1.8 s, also ca. um den Faktor 30. Dies wurde auf 4 Arten erreicht: Einschränkung der Genauigkeit, Verwendung eines externen schnellen Multiplizierers (EAE = Extended Arithmetic Element), parallele Datenverarbeitung des Laborrechners und eines Mikroprozessors sowie eine Reduktion der Klassifizierungsparameter.

Dies macht viele Untersuchungen erst möglich, die zuvor wegen des großen Zeitaufwandes nicht durchführbar waren.

3.1.1 Einschränkung der Genauigkeit

Im bisherigen Rechenverfahren wurde das Spektrum aus 1024 Werten berechnet, d.h. bei einer Abtastzeit von 1500 Mikrosekunden (666.6 Hz) über eine Zeit von 1.536 s. Diese Berechnung dauerte ca. 43 s. Für die on-line-Klassifizierung wird das Spektrum aus nurmehr 128 Werten errechnet, jedoch über die ganze Zeitspanne von 1.536 s, so daß nur jeder 8.Wert zur Spektralzerlegung genommen wird. Es ergibt sich für die Spektralzerlegung dann eine andere Abtastfrequenz von $666.6 \text{ Hz} / 8 = 83.3 \text{ Hz}$. Daraus errechnet sich dann nach dem Abtasttheorem (/19/S.182) eine genaue Spektralzerlegung im Bereich 0 - 41.65 Hz. Genau heißt in diesem Fall bis auf die Fehler, die durch den Rechenalgorithmus des Spektralzerlegungsprogramms entstehen. Dies ist für eine EEG-Spektralzerlegung ausreichend, es ergibt sich dann eine ungefähr 6-fache Reduktion der Rechenzeit; die theoretisch mögliche Reduktion der Rechenzeit um den Faktor 12 (/19/S.202) kann der verwendete Algorithmus offensichtlich nicht ausnutzen. In Abb.3.1-1 ist die prozentuale Abweichung eines aus jedem 8.Wert berechneten Spektrums gegenüber dem aus 1024 Werten berechneten aufgetragen (unterbrochene Linie). Es zeigen sich zum Teil erhebliche Abweichungen, vor allem im höheren Frequenzbereich. Im Bereich bis ca. 12 Hz (Alpha- und Beta-Wellen) zeigt sich eine maximale

Abweichung von 32%. Diese Abweichung erscheint jedoch für manche Versuche tolerierbar, da in diesem Bereich die für die angewendete Klassifizierungsmethode wichtigen relativen Maxima bis auf eines übereinstimmen (Abb.3.1-3).



Abb.3.1-3 Beispiel eines Spektrums aus 1024 Werten (links)
und eines Spektrums aus jedem 8.Wert (rechts)

Diese etwas unbefriedigende Genauigkeit läßt sich verbessern, wenn man das Spektrum aus 256 Werten, d.h. jedem 4.Wert berechnet. Dabei macht die Reduktion der Rechenzeit nur den Faktor 2.7 aus, wieder nur etwa die Hälfte des theoretisch möglichen. Diese Verlängerung ist für viele Versuche annehmbar, es ergibt sich eine Rechenzeit von ca. 3.6 s für jedes Spektrum (mit den anderen Verbesserungen zusammen). Wie aus Abb.3.1-1 ersichtlich (durchgezogene Linie), ist die 30% - Abweichung erst ab 25 Hz zu

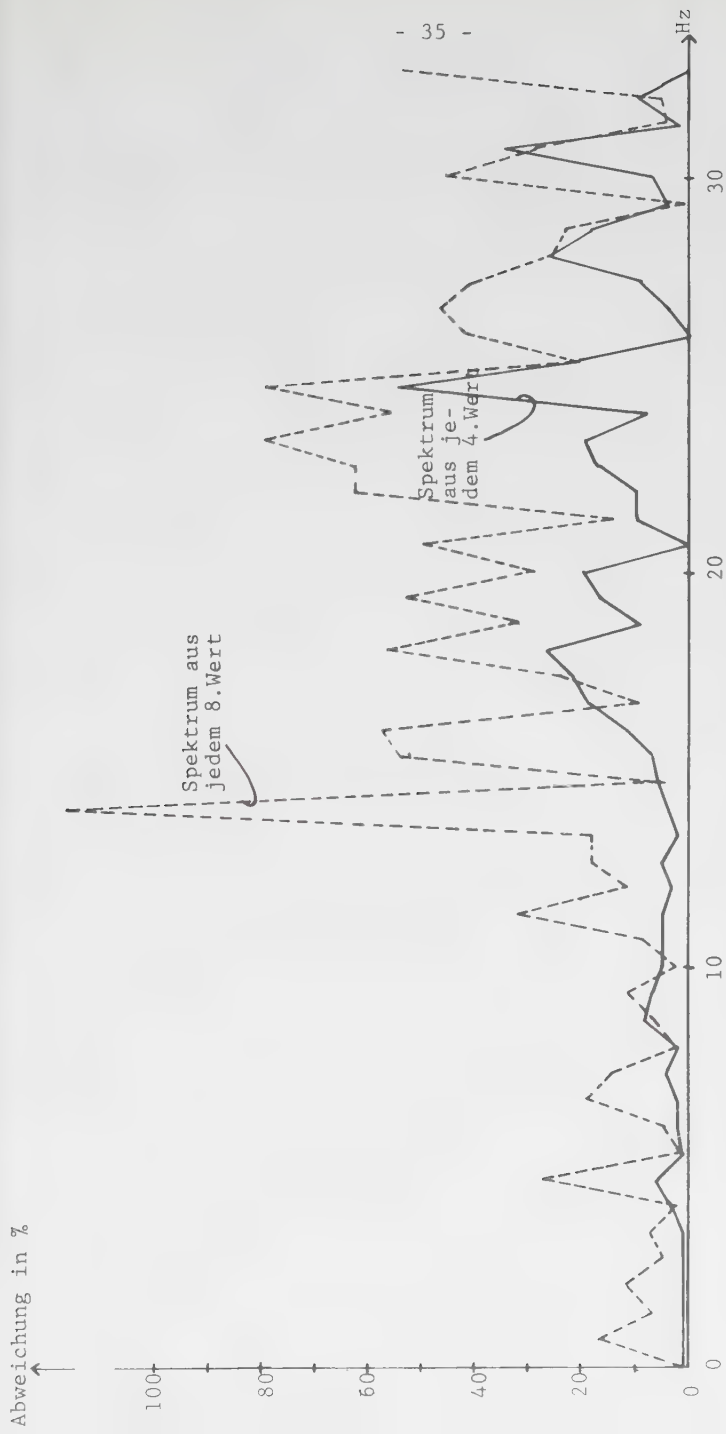


Abb. 3.1-1 Beispiel der prozentualen Abweichung des Spektrums aus jedem 8. Wert bzw. 4. Wert von dem Spektrum aus allen Werten

finden.

Eine Erklärungsmöglichkeit für die Abweichungen, die ja theoretisch nahe Null liegen müßten, ist darin zu sehen, daß die Reduktion der Werteanzahl bei gleicher Genauigkeit im unteren Frequenzbereich nur unter der Voraussetzung möglich ist, daß im betrachteten EEG-Bereich keine Frequenzen vorkommen, die höher sind als die Grenzfrequenz, in diesem Fall also 41.5 Hz bei 128 Werten bzw. 83 Hz bei 256 Werten. Zur Vermeidung der Abweichungen würde dies bedeuten, ein Tiefpaßfilter mit einer entsprechenden Eckfrequenz vorzuschalten. Dies war nicht möglich, da die volle Genauigkeit, also auch die höheren Frequenzen, für die Mittelung erhalten bleiben sollte.

Da die Verwendung zweier Analog-Eingänge nicht möglich war, wurde versucht, die hohen Frequenzanteile zumindest zu dämpfen. Es wurde vom Rechner jeweils das arithmetische Mittel aus 8 bzw. 4 Werten gebildet und die erhaltenen 128 bzw. 256 Werte zur Spektralzerlegung verwendet. Das Ergebnis zeigt Abb.3.1-2. Die regelmäßigen, hohen Abweichungen beider Kurven lassen sich dadurch erklären, daß die Daten für das als Vergleichsmaßstab dienende Spektrum aus 1024 Werten mit einem anderen Analog-Digital-Wandler erhalten wurden als die Daten für das Spektrum aus 128 bzw. 256 Werten. Zum einen wurde der AD-Wandler der PDP12 benutzt, der eine Abtastrate von genau 1500 Mikrosekunden aufweist, zum anderen wurde der AD-Wandler des

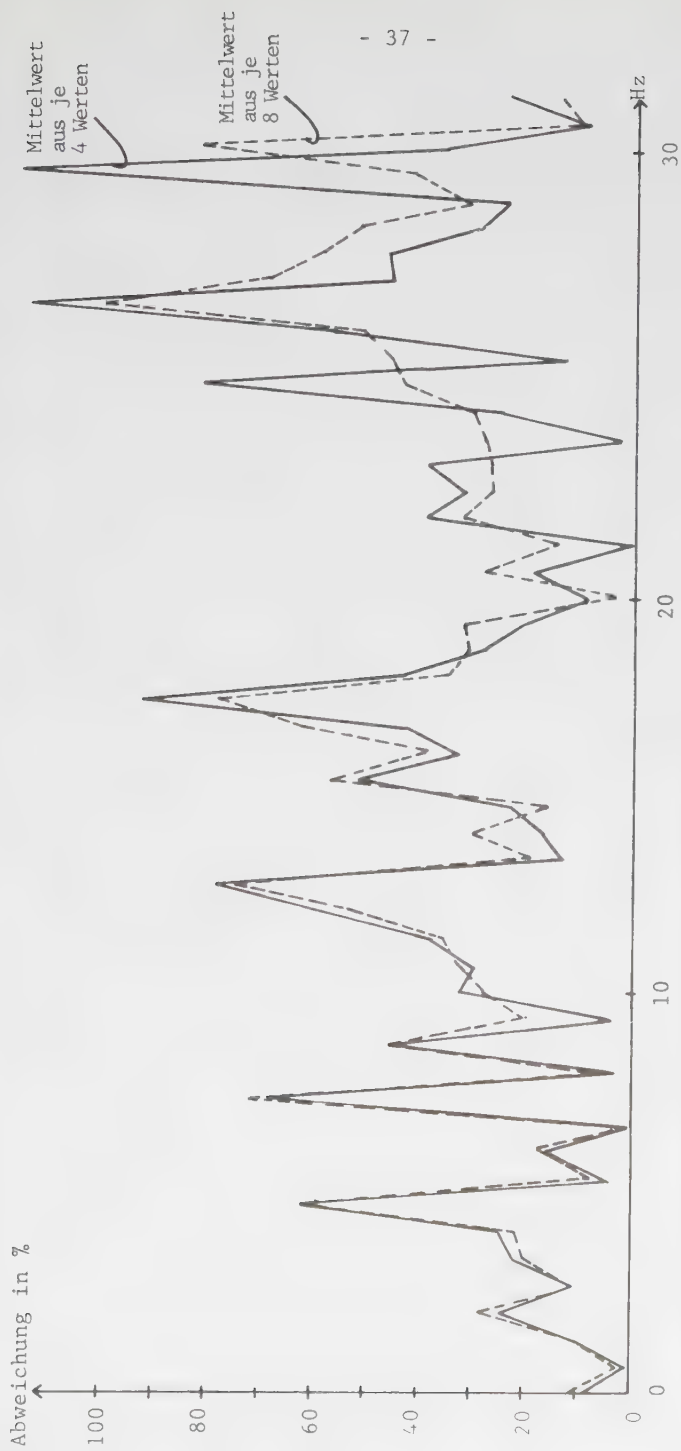


Abb.3.1-2 Beispiel der prozentualen Abweichung des Spektrums aus den Mittelwerten von je 4 bzw. 8 Werten von dem Spektrum aus allen Werten

Mikroprozessor-System IM6100 (s. Anhang) benutzt, bei dem sich die Abtastrate durch die Software auf 1500 Mikrosekunden mit einer Genauigkeit von lediglich 20 Mikrosekunden einstellen läßt. Dies ergibt für den Frequenzbereich eine Veränderung des Frequenzmaßstabs von maximal 1.33 %. Jedoch werden dadurch die relativ scharfen Maxima des Spektrums verändert in der in Abb. 3.1-2 exemplarisch dargestellten Art. Da eine einheitliche Datengewinnung aus Systemgründen nicht möglich war, kann der Abstand der beiden Kurven in Abb. 3.1-2 als Hinweis dafür dienen, daß die digitale Mittelwertbildung die Genauigkeit der Spektren erhöht: Der Abstand übersteigt die 30 % erstmals bei einer Frequenz von 25 Hz gegenüber 12 Hz in Abb. 3.1-1 bei den Spektren ohne Mittelwertbildung.

Somit kann angenommen werden, daß die Reduzierung der zur Berechnung eines Spektrums zugrunde gelegten Punkteanzahl von 1024 Punkten auf 128 bzw. 256 Punkte ohne wesentliche Einbuße an Genauigkeit vorgenommen werden kann, vorausgesetzt man benutzt immer den gleichen AD-Wandler, wendet die digitale Mittelwertbildung an und wertet das Spektrum nur bis ca. 25 Hz (bei 1500 Mikrosekunden Abtastrate) aus.

3.1.2 Parallele Verwendung eines Mikroprozessors und des Laborrechners PDP12

Durch die Verwendung von zwei parallel rechnenden Computern läßt sich bei einer guten programmiertechnischen Aufteilung des Rechenproblems die Rechenzeit halbieren. Hierbei wurde an den Laborrechner PDP12 mittels eines Interfaces (s. Anhang) ein Mikroprozessorsystem (IM6100 von Intersil) angeschlossen. Dieses System eignet sich deshalb besonders gut, da es mit der gleichen Wortlänge wie der Rechner PDP12 arbeitet (12 Bit) und auch fast die gleiche Maschinenbefehlsstruktur aufweist, so daß die Programmerstellung und Assemblierung für den Mikroprozessor mit dem Monitor-System des PDP12-Rechners möglich ist (Cross-Software). Für die on-line-Klassifizierung wurde die Verteilung der Aufgaben auf die beiden Rechner so vorgenommen, daß jeder Rechner entsprechend seiner speziellen Auslegung optimal eingesetzt werden konnte. Dabei führt der Laborrechner PDP12 die besonders rechenintensive Spektralzerlegung wegen seiner größeren Rechengeschwindigkeit durch, außerdem nimmt er die Klassifizierung vor auf Grund seines größeren Kernspeichervolumens (16k gegenüber 3k bei dem Mikroprozessor). Auch die Abspeicherung der EEG-Abschnitte, der Spektren und der Klassifizierungsergebnisse wird von der PDP12 durchgeführt, da dieser Rechner über einen schnellen Massenspeicher verfügt (Magnetplatten-

wechselspeicher gegenüber Floppy-Disk und Kassettenspeicher bei dem Mikroprozessor).

Demgegenüber übernimmt der relativ langsame Mikroprozessor die weniger rechenintensiven Aufgaben wie die Analog-Digital-Wandlung des EEG's und die digitale Filterung (=digitale Mittelwertbildung). Dies hat den Vorteil, daß die Datenaufnahme und -verarbeitung vor der Mittelung und Spektralzerlegung in weiten Grenzen flexibel gehalten werden kann, ohne daß dazu ein größerer Programmieraufwand erforderlich wird: Der Mikroprozessor übergibt jeweils lediglich 256 Werte für die Berechnung des evozierten Potentials und seine Klassifizierung, sowie 128 bzw. 256 Werte für die Spektralzerlegung an die PDP12, wie diese Werte zustandekommen, bleibt dem Benutzer überlassen.

3.1.3 Verwendung eines externen schnellen Multiplizierers (EAE = Extended Arithmetic Element) für den Labor- rechner PDP12

In den bisher am Rechner PDP12 verwendeten Spektralzerlegungsprogrammen wurde die Multiplikation und Division von speziellen Software-Unterprogrammen durchgeführt. Die Zeit, die der Rechner für eine (komplexe) Multiplikation braucht, ist bei der schnellen Spektralzerlegung (= FFT = Fast Fourier Transform) direkt proportional zu der

Gesamtrechenzeit /19/, so daß sich jede Beschleunigung der Multiplikation besonders stark bemerkbar macht. Zu diesem Zweck wurde das am Rechner PDP12 bereits vorhandene EAE aktiviert, das bis dahin nicht eingesetzt werden konnte, da es sich bezüglich einiger implementierter Shift-Operationen als fehlerhaft erwies bzw. als nicht übereinstimmend mit den Angaben im Bedienungsmanual. Durch den Einsatz eines schnellen Software-Shift-Simulators (s.Anhang), der die erforderlichen Befehlsmodifikationen vornimmt, kann das EAE eingesetzt werden, was die Rechenzeit für eine Spektralzerlegung um den Faktor 5 reduziert.

3.1.4 Reduktion der Klassifizierungsparameter

Bei der off-line-Klassifizierung werden pro Spektrum 4 Parameter in 4 Frequenzbereichen berechnet (s.2.1), die nach der 100-maligen Bestimmung daraufhin untersucht werden, ob sie einen Beitrag zu einer sinnvollen Klassifizierung leisten. Dies ergibt pro evoziertem Potential 16 verschiedene Klassifizierungen mit jeweils 3 evozierten Potentialen, deren gewichtete Summe jeweils das Gesamtpotential ergibt. Diese Vorgehensweise ist nur bei der Suche nach Kriterien sinnvoll, bei denen die klassifizierten Potentiale Veränderungen gegenüber dem Gesamtmittel zeigen. Dies würde bei der on-line-Klassifizierung

nach mehreren Versuchen schnell zu einer unübersichtlichen Datenflut führen. Deshalb wird für die on-line-Klassifizierung angenommen, daß der interessierende Parameter in einem bestimmten Frequenzbereich vorher feststeht, so daß pro evoziertem Potential nur eine Klassifizierung vorgenommen wird, was auch Rechenzeit spart und rasche, übersichtliche intra- und interindividuelle Vergleiche ermöglicht.

Außerdem werden pro evoziertem Potential nur 2 Klassen gebildet, wobei das Programm zur Zeit so eingestellt ist, daß in jede der beiden Klassen jeweils etwa 50 reizsynchrone EEG-Abschnitte gemittelt werden. Dies scheint besonders sinnvoll für Versuchsbedingungen, bei denen starke Latenzzeitvariabilitäten vermutet werden.

Bedingt durch die Art der verwendeten Klassifikationsmethode kann die Entscheidung, in welche Klasse jeder einzelne EEG-Abschnitt gemittelt werden soll, erst nach dem Abschluß des Versuchs getroffen werden, d.h. die eigentliche Klassifizierung (sie dauert ca. 30 s) wird erst nachträglich vorgenommen, was Rechenzeit sparen hilft während des Versuchs. In dieser Zeit können dann die Reizbedingungen für den neuen Versuch eingestellt werden.

3.2 Ergebnisse der on-line-Klassifizierung

Die Ergebnisse der on-line-Klassifizierung sind im Prinzip die gleichen wie bei der off-line-Klassifizierung, da hier lediglich eine Beschleunigung und Vereinfachung des Rechengangs erreicht werden sollte. Ein Unterschied ergibt sich daraus, daß bei der on-line-Klassifizierung nur 2 Klassen gebildet werden, wobei in beide Klassen ungefähr jeweils gleich viele Potentiale gemittelt werden. Dadurch fallen die Erhöhungen von QP2N1 nicht so deutlich aus wie bei der Mittelung in 3 Klassen. Dies ist jedoch bei der praktischen Durchführung kein Nachteil, da nach dem Versuch mit dem Programm ONLOFFL (s.Anhang) sofort zur weiteren off-line-Bearbeitung übergegangen werden kann.

Zur Illustration seien deshalb nur einige Beispiele aufgeführt: In den Beispielen 38-40 wurde stets nach dem Wert des Frequenzspektrums bei der Frequenz klassifiziert, bei der das 1.Maximum im Frequenzspektrum des Gesamtmittels auftritt (s.Anhang). Analog zu Abschnitt 2.2.3 ergibt sich eine Amplitudenüberhöhung immer in der 2.Klasse. Aus den Beispielen wird deutlich, daß der Effekt der Klassifizierung interindividuell stark streut. In Beispiel 38 (s.Anhang) ergibt sich ein QP2N1 von 1.74, in Beispiel 39 ist die Auswirkung der Klassifizierung nur minimal: QP2N1=1.17 (wie allgemein bei dieser Versuchsperson, s. Beispiele 17, 18, 26). Andererseits tritt

in Beispiel 40 das evozierte Potential erst durch die Klassifizierung klar hervor (s. Anhang).

4. Beschreibung der entwickelten Software

Bei der Entwicklung des zur on- und off-line-Klassifizierung gehörigen Software-Pakets wurde ein Hauptgewicht darauf gelegt, daß die Programme untereinander voll kompatibel sind. So ist es auf der einen Seite möglich, on-line aufgenommene Daten nachträglich (nach Ablauf des Programms ONLOFFL) mit den off-line-Programmen zu bearbeiten, da sowohl die reizsynchrone EEG-Abschnitte als auch die zugehörigen Spektren beim on-line-Betrieb auf Platte abgespeichert werden. Auf der anderen Seite können Daten, die 4-Block-weise (s. 4.1) abgespeichert sind und das verborgene evozierte Potential im jeweils 1. Block enthalten, mit Hilfe der Programme SIMMP128 bzw. SIMMP256, die die Mikroprozessoreingabe in den on-line-Programmen simulieren, quasi-on-line klassifiziert gemittelt werden, d.h. die EEG-Daten von der Platte ersetzen die Versuchsperson und die Mikroprozessoreingabe entfällt. Diese Möglichkeit wird wichtig dann, wenn früher aufgenommene Versuche noch einmal klassifiziert gemittelt werden sollen. Anschließend können diese Daten wiederum off-line bearbeitet werden.

4.1 Programm KLASS1: off-line-Klassifizierung

Funktion: Das Programm KLASS1 ermittelt die 4 Parameter MAX, MAXWRT, MW und INT (s.2.1) in 4 einzugebenden Frequenzbereichen der 100 Spektren und speichert die sich ergebenden 16 Parameterscharen auf Band ab.

Vor dem Laden des Programms müssen die 100 Spektren der EEG-Abschnitte in den Blöcken 620₈-763₈ der Magnetplatteneinheit U16 abgelegt sein (jeweils 1 Spektrum pro Block).

Hierzu gibt es 3 Möglichkeiten:

a) Die 100 EEG-Abschnitte werden mit dem Programm AVERAD4 (s. Softwarebeschreibung der Programme der PDP12) entweder direkt von der Versuchsperson oder indirekt von einer Bandaufzeichnung dem Laborrechner PDP12 überspielt. Das Programm AVERAD4 wartet auf einen Triggerimpuls, der den Beginn eines reizsynchronen EEG-Abschnitts anzeigt. Nach diesem Triggerimpuls wird das EEG mit einer vorher einzugebenden Abtastrate 1024-mal abgetastet und in 4 Blöcke (à 256 Werten) in einer vorher einzugebenden Magnetplatteneinheit (für Punkt c) auf U16) abgelegt. Anschliessend weiter bei Punkt c) oder man läßt dann nach einer Umspeicherung der EEG-Daten auf Band von dem Programm FFTAD (s. Softwarebeschreibung der Programme der PDP12) die 100 Spektren errechnen und auf das gleiche Band in die Blöcke 620₈-763₈ abspeichern. Sodann speichert man

das Band auf die Magnetplatte U16 um.

b) Falls die Daten mit den Programmen FFTMP128 bzw. FFTMP256 (s. 4.3 bzw. 4.4) überspielt wurden, genügt anschließend der Aufruf des Programms ONLOFFL(s. 4.12), um die Daten so umzuspeichern, daß sie für das Programm KLASS1 bzw. KLASS2 (s. 4.2) bearbeitbar werden.

c) Wenn die reizsynchronen EEG-Abschnitte auf U16 4-Blockweise von Block-NR. 000_8 - 617_8 bereits vorliegen, z.B. nach a), wird mit den Programmen SIMMP128 (s.4.10) bzw. SIMMP256 (s.4.11) und anschließend dem Programm ONLOFFL (s.4.12) eine Spektralzerlegung durchgeführt, sowie die Daten umgespeichert für das Programm KLASS1 bzw. KLASS2.

Anmerkung: Mit dem Programm FORM128 (s.4.13) und anschließend dem Programm ONLOFFL wird die Mustererkennung nach Abschnitt 2.2.3 zugänglich für die off-line-Bearbeitung mit KLASS1 und KLASS2; das Programm FORM128 kann nach jedem Lauf von ONLOFFL sinnvoll gestartet werden, da es nur den kleineren Teil des die beiden bestimmenden Komponenten des verborgenen evozierten Potentials enthaltenden reizsynchronen EEG-Abschnitts zur Spektralzerlegung verwendet. Nach dem laden und starten des Programms mit LOKLASS1,XY meldet sich das Programm mit:

3 FREQU.-GRENZEN DEZ (0-255):

Man gibt die 3 Frequenzgrenzen dezimal ein (jeweils Abschluß der Eingabe mit :) im Bereich von 0-255 in aufsteigender Reihenfolge. Die Eingabe in ganzen Zahlen anstelle von

Frequenzen wurde gewählt, um das Programm KLASS1 bei verschiedenen Abtastfrequenzen anwenden zu können, da sich bei unterschiedlichen Abtastraten und gleicher Abtastzahl der Maßstab auf der Frequenzachse des Spektrums entsprechend verschiebt. Zur Eichung kann die Eichformel

$$\text{Hz} / \text{Einheit Frequenzeingabe} = 500 / \text{Abtastrate in Mikrosek.} =$$
$$= \text{Abtastrate in Hz} / 2000$$

verwendet werden.

Sodann fragt das Programm

NREMAX; NLIMAX DEZ?

Mit der Eingabe dieser beiden Zahlen (dezimal) bestimmt man, wie weit das Integral um das Maximum im jeweiligen Frequenzbereich begrenzt werden soll (Abschluß der Eingaben mit :). Die Eingabe wird wieder als ganze Zahl vorgenommen (Eichung s. oben). Es empfiehlt sich, die Integrationsgrenzen nicht zu groß anzusetzen, ungefähr 1-3 Hz.

Sodann berechnet das Programm die 4 Parameter MAXADR (Adresse bzw. Frequenz des Maximums), MAXWRT (Wert des Maximums), INT (Integral in den vorher eingegebenen Grenzen um das Maximum herum) und MW (Mittelwert der eingegebenen 4 Frequenzbereiche) jeweils von den 100 Spektren und fragt:

ERGEBNIS (8 BL.) AUF TAPE-UNIT:

Man kann eine Tape-Unit von 0-7 wählen, Abschluß mit :, weiter fragt das Programm:

AB BL.-NR.(OCT):

Nach Eingabe der Block-Nummer als Oktalzahl, Abschluß

wieder mit :, werden die 8 Blöcke auf das gewählte Band gespeichert und das Programm kehrt zurück in den Monitor. Die Aufteilung der Abspeicherung der 1600 Parameter in den 8 Blöcken (jeweils von 0-256 dezimal bzw. von 000_8 - 377_8 oktal) zeigt Tabelle 4.1-1:

Kodierung	Speicherplätze oktal	Parameter	Frequenz- bereich	Block
0 0	000-143	MAXADR	1	0.Block
0 1	200-343	MAXADR	2	0.Block
1 0	000-143	MAXADR	3	1.Block
1 1	200-343	MAXADR	4	1.Block
2 0	000-143	MAXWRT	1	2.Block
2 1	200-343	MAXWRT	2	2.Block
3 0	000-143	MAXWRT	3	3.Block
3 1	200-343	MAXWRT	4	3.Block
4 0	000-143	INT	1	4.Block
4 1	200-343	INT	2	4.Block
5 0	000-143	INT	3	5.Block
5 1	200-343	INT	4	5.Block
6 0	000-143	MW	1	6.Block
6 1	200-343	MW	2	6.Block
7 0	000-143	MW	3	7.Block
7 1	200-343	MW	4	7.Block

Tabelle 4.1-1 Aufteilung und Kodierung für Programm KLASS2
(s. 4.2) der Parameterabspeicherung

4.2 Programm KCLASS2: off-line-Klassifizierung

Funktion: Das Programm KCLASS2 liest jeweils 100 von KCLASS1 ermittelte zusammengehörende Parameterwerte ein, legt die Klassifizierungsgrenzen interaktiv mit dem Benutzer fest, mittelt getrennt in den 3 Klassen und speichert die 3 klassifizierten gemittelten evozierten Potentiale ab auf Magnetband.

Vor dem Laden des Programms KCLASS2 müssen die zu mitteln- den EEG-Abschnitte auf der Disk U16 in den Blöcken 000₈, 004₈, 010₈, 014₈, 020₈, ..., 610₈ und 614₈ abgespeichert sein. Das Programm wird geladen und gestartet mit LOKCLASS2,XY.

a) Es meldet sich mit:

DATEN AB BLOCK:

Man gibt die Block-Nummer ein, von der ab man die 8 Blöcke mit KCLASS1 abgespeichert hat. Dabei nimmt das Programm an, daß das betreffende Magnetband auf U1 aufgelegt ist.

b) Weiter fragt das Programm:

KODIERUNG?0-7,0-1:

Nun gibt man eine Zahl zwischen 0 und 7 und eine weitere Zahl, entweder 0 oder 1, ein, Abschluß der beiden Eingaben jeweils mit :. Diese beiden Zahlen stellen die Kodierung dar für den jeweils interessierenden Parameter in einem bestimmten Bereich, die Aufschlüsselung der Kodierung ist in Tabelle 4.1-1 zu finden.

c) Dann fragt das Programm:

2 DEC KLASSE-WERTE:

Man gibt zunächst zwei willkürliche ganze Zahlen ein, Abschluß jeweils mit :. Auf dem Bildschirm erscheint dann ein Bild wie in Abbildung 2.1-4 dargestellt. Man hat dann 8 Eingabemöglichkeiten:

R: (Rechne) Das Programm klassifiziert nach dem dargestellten Bild, bildet die 3 evozierten Potentiale und fragt:
3 EVO. POT. SP. AB BL-NR:

Nach Eingabe der Blocknummer, Abschluß mit :, werden die 3 evozierten Potentiale ab dem angegebenen Block auf Magnetbandeinheit 1 abgespeichert, die Anzahl der Mittelungen je Klasse ausgedruckt, und das Programm kehrt zu der Bildschirmdarstellung zurück.

E: (Ende) Das Programm springt in den Monitor zurück

N: (Neuere Kodierung) Das Programm springt zu Schritt b) zurück

K: (Neuere Klassifikationswerte) Das Programm springt zu Schritt c) zurück

A: (Anfang) Das Programm springt zu Schritt a) zurück

1: Bildverkleinerung: Der Maßstab der Bilddarstellung auf dem Monitor wird größer

2: Bildvergrößerung: Der Maßstab der Bilddarstellung auf dem Monitor wird kleiner

O: (Originaldarstellung) Aufhebung von einer Bildverkleinerung oder -vergrößerung

Eine andere Eingabe hat keinen Effekt.

4.3 Programm FFTMP128: on-line-Klassifizierung

Funktion: Das Programm FFTMP128 übernimmt 256 + 128 Zahlenwerte vom Mikroprozessor (s. 4.5). Die ersten 256 Werte entsprechen dem zu mittelnden reiz-synchronen Abschnitt des verborgenen evozierten Potentials, entsprechend der Abtastrate des Mikroprozessors (s. 4.5). Die zweiten 128 Werte entsprechen einem EEG, das mit der 8-fachen Abtastzeit reizsynchron ermittelt wurde.

Sodann wird das Fourier-Spektrum der zweiten Wertefolge ermittelt und zusammen mit dem EEG-Potential in 2 Blöcken auf U16 abgespeichert aufsteigend ab Block 000.

Nachdem dies 100-mal wiederholt wurde, wird die automatische Skalierung des FFT-Programms auf den gleichen Wert abgeglichen, und die EEG-Abschnitte werden nach den Spektren klassifiziert und anschließend in 2 Klassen gemittelt. Ausgegeben werden die 2 klassifizierten Potentiale, das Gesamtmittel und die Parameterschar jeweils in einem Block auf U15.

Vor dem Starten des Programms FFTMP128 muß das Programm MPINT128 in den Mikroprozessor eingelesen und gestartet sein (s. 4.5). Ferner sind die Abstände für die Triggerimpulse nach Abschnitt 4.5 zu beachten.

Das Programm wird gestartet mit LOFFTMP128,XY.

Es meldet sich mit:

BINFFTD ON DISK(0-6)? BL-NR?

Die Binärfassung des FFT-Programms wird nun eingelesen,

Antwort z.B. 1:1277:

Dann fragt das Programm:

2 FREQ-GREN DEC (0-128)?

Es muß nun die Eingabe des Frequenzbereiches erfolgen, der für die Klassifizierung herangezogen werden soll, Umrechnung der Zahlen in Frequenzen siehe 4.1, Antwort z.B. 10:20:

Weiter fragt das Programm:

MAXADR=0,MAXWRT=1,INT=2,MW=3:

Es erfolgt nun die verschlüsselte Eingabe des Parameters, der im obigen Frequenzbereich berechnet werden soll, und nach dem auch klassifiziert werden soll, Antwort bei Auswahl von INT z.B. 2:

Das Programm fragt noch:

ERGEBN. AUF U15 AB BL.?:

Jetzt muß der erste Ausgabespeicherblock auf U15 eingegeben werden, Antwort z.B. 100:

Nun übernimmt das Programm die EEG-Werte, berechnet die Fourieranalyse, klassifiziert und gibt die Ergebnisse auf U15 aus. Es meldet sich wieder mit:

MITTELUNGEN: XX YY

d.h. es erfolgt die Ausgabe, wieviel Mittelungen in der ersten und wieviele in der zweiten Klasse erfolgten.

Man hat dann 3 Möglichkeiten, im Programm weiter zu verzweigen:

- a) kein SNS gedrückt: Programm kehrt in den Monitor zurück
- b) SNS2 gedrückt: Programm kehrt zum Anfang zurück
- c) SNS1 gedrückt: Das Programm erwartet die nächste Mikroprozessoreingabe, d.h. es klassifiziert dann fortlaufend und speichert die Ergebnisse auf U15 jeweils um 4 Blöcke weiterzählend ab.

Anmerkung: Nach jedem Versuch sind die 100 reizsynchronen EEG-Abschnitte mit den zugehörigen Spektren auf U16 verfügbar, sie können dann mit dem PIP-Programm auf Tape übertragen werden oder mit dem Programm ONLOFFL (s. 4.12) umgespeichert und dann mit KLASS1 und KLASS2 bearbeitet werden.

4.4 Programm FFTMP256: on-line-Klassifizierung

Das Programm arbeitet mit dem Mikroprozessorprogramm MPINT256 zusammen. Einziger Unterschied hier gegenüber dem Programm FFTMP128 (s. 4.3) ist, daß das Spektrum jeweils aus 256 Werten berechnet wird (=größere Genauigkeit, jedoch doppelte Rechenzeit). Die Einschränkungen bezüglich des Triggerimpulsabstandes sind in Abschnitt 4.6 angegeben.

4.5 Programm MPINT128: on-line-Klassifizierung

Funktion: Das Programm tastet auf einen Triggerimpuls hin das am Analogeingang anliegende Signal (maximal +10 V) mit einer Abtastrate von 1500 Mikrosekunden. Anschließend wird aus je 8 der 1024 Abtastwerte der digitale Mittelwert gebildet (ergibt 128 Werte). Sodann werden die ersten 256 Abtastwerte sowie die 128 digitalen Mittelwerte an den Rechner PDPl2 übergeben. Anschließend verzweigt das Programm wieder zum Anfang. Das Programm arbeitet on-line mit dem PDPl2-Programm FFTMP128 zusammen.

Erforderliche Hardware: außer dem Mikroprozessor-Board des IM6100 müssen die 4k-Speicherplatine, die AD-Wandler-Platine und die Interface-Platine zur PDPl2 am Mikroprozessor-Bus angeschlossen sein.

Starten des Programms: Nach dem Einlesen des Lochstreifens mit 200G. Das Mikroprozessorprogramm muß vor dem PDPl2-Programm gestartet werden.

Einstellung der Abtastrate: Vom Programm her ist die Abtastrate auf ca. 1500 Mikrosekunden eingestellt ($Sp165=7701_8$).

Sie ist einstellbar mit dem Inhalt der Speicherzelle 165₈ von 214 Mikrosekunden ($Sp165_8=7777_8$) bis 84.84 ms ($Sp165_8=0000_8$). Die Abtastrate berechnet sich nach folgender Formel:

$$t_A = 214 \text{ Mikrosek.} + A (7777_8 - Sp165_8)_{10} ; A = 20.667 \text{ Mikrosek.}$$

Ist eine bestimmte Abtastzeit t_A vorgegeben, errechnet sich der Inhalt von $Sp165_8$ durch Umkehrung obiger Formel:

$$(7777_8 - Sp165_8)_{10} = ((t_A(\text{Mikrosek.}) - 214 \text{ Mikrosek.})/A)_{INT}$$

Man errechnet zunächst den Klammerausdruck, läßt den Nachkommaanteil weg bzw. rundet auf die nächste ganze Zahl auf, zieht diese Zahl von 4095_{10} ab, wandelt das Ergebnis in eine Oktalzahl um und gibt dieses Ergebnis dann in $Sp165_8$. Die Abtastrate läßt sich daher nur bis auf 20.667 Mikrosek. genau einstellen.

Um den on-line-Betrieb mit dem PDP12-Programm FFTMP128 zu gewährleisten, unterliegt die Aufeinanderfolge der Triggerimpulse folgenden Zeitbeschränkungen:

Abtastrate	minimaler Triggerimpulsabstand
$\leq 1500 \mu s$	1.8 Sekunden
$> 1500 \mu s$	Abtastzeit $\times 1024 + 0.3$ Sekunden

Wenn die AD-Wandler-Platine in dem in /6/ und /7/ beschriebenen Gerät betrieben wird, sind die Anschlüsse für den Triggerimpuls und der Analogeingang bereits mit den Frontplattenanschlüssen verdrahtet, ansonsten sind die Anschlüsse dem Schaltplan im Anhang zu entnehmen.

4.6 Programm MPINT256: on-line-Klassifizierung

Funktion: Das Programm arbeitet in genau der gleichen Weise wie das Programm MPINT128 (s. 4.5), jedoch werden jeweils 4 der 1024 Abtastwerte zu dann insgesamt 256 digitalen Mittelwerten zusammengefaßt und anschließend an die 256 Abtastwerte an die PDP12 übergeben. Das Programm arbeitet on-line mit dem PDP12-Programm FFTMP256 zusammen.

Einziger weiterer Unterschied gegenüber dem Programm MPINT128 ist eine andere Tabelle für die Triggerimpulsabstände:

Abtastrate	minimaler Triggerimpulsabstand
$\leq 3000 \mu s$	3.6 Sekunden
$> 3000 \mu s$	Abtastzeit x 1024 + 0.5 Sekunden

4.7 Programm EAESH: schneller shift-Simulator für EAE-Befehle

Funktion: Das Programm EAESH stellt einen schnellen shift-Simulator dar für die shift-Operationen (LSR, ASR und SHL) des EAE (Extern Arithmetic Element). Dabei sind die Verzweigungen für das Programm FFTDD bereits implementiert.

Das Programm EAESH kann zu allen FFT-Programmen via AB (ADD BINARY) dazu geladen werden. Das Starten der Pro-

gramme ist dann normal.

Anmerkung: Das in den Laborrechner eingebaute EAE erwies sich als fehlerhaft bezüglich der shift-Operationen bzw. führte die shift-Operationen nicht in Übereinstimmung mit der Beschreibung durch: Die Anzahl der shifts ist gleich dem Inhalt der dem shift-Befehl folgenden Speicherzelle, jedoch verlangen die FFT-Programme und die Beschreibung noch jeweils einen shift mehr. Dies wird mit dem Programm EAESH durchgeführt, und auf diese Weise die Dauer der Gesamt-rechenzeit kaum beeinflußt. Der frühere Software-Simulator EAESIM, der die EAE-Funktion nicht benutzte, verlängerte die Rechenzeit um ca. 30 %.

4.8. Programm LOADMP: Laden von auf der PDP12 assemblierten Programmen in den Mikroprozessor

Funktion: Das Programm LOADMP lädt auf dem Rechner PDP12 erstellte und assemblierte Programme von der Magnetplatte in den Mikroprozessor zusammen mit dem Mikroprozessorprogramm MPLOADMP (s. 4.9).

Das Programm LOADMP wird gestartet mit:

LOLOADMP,XY

Es meldet sich mit:

BINAERDECK IN DISK UNIT (0-6):

Nun muß die DISK-UNIT, auf der sich das Programm befindet, eingegeben werden, z.B mit 0:

Weiter fragt das Programm:

START BLOCK (OCT):

Es muß der erste Block des Programms eingegeben werden,
z.B. mit 1234:

Als letztes fragt das Programm:

WIEVIEL BLOECKE (OCT):

Man gibt die Anzahl der Blöcke oktal ein, z.B. mit 16:
Diese Angaben für die Eingaben erhält man z.B. mit dem
Monitorbefehl DX,XY.

Das assemblierte Programm darf nicht länger als 3k sein.
Übertragen werden die Speicherzellen 140_8 - 5777_8 , da im
Mikroprozessor die Speicherzellen bis 100_8 vom ODT, die
Zellen bis 140_8 vom Einleseprogramm MPLOADMP und die
Zellen 6000_8 - 7777_8 wieder vom ODT belegt sind.

Ist das angeschlossene Mikroprozessor-Memory kleiner als
4k, kehrt das Programm LOADMP nicht mehr in den Monitor
zurück, es muß dann neu gestartet werden.

Das zugehörige Mikroprozessorprogramm MPLOADMP muß vor
dem Programm LOADMP gestartet werden.

4.9 Mikroprozessorprogramm MPLOADMP: Laden von auf der PDP12 assemblierten Programmen in den Mikroprozessor

Funktion: Das Programm lädt ein Binärdeck von der PDP12
in den Mikroprozessor. Es arbeitet mit dem
PDP12-Programm LOADMP zusammen.

Nach dem Einlesen des Programms mit dem Lochstreifen

wird es mit 100G gestartet.

Das Programm belegt die Speicherzellen 100_8 - 132_8 und liest ein Programm von der PDP12 in die Zellen 140_8 - 5777_8 ein.

Dazu muß ein 4k-Memory angeschlossen sein.

Das Programm kann an die anderen für den Mikroprozessor verfügbaren Memorys angepaßt werden mit dem Inhalt der Speicherzelle 130_8 (=ZZZ, s. Programmausdruck in /20/):

4k-Memory: Sp 130_8 = 2140_8 (Normalfall)

1k-Memory: Sp 130_8 = 6140_8

256-Control-Panel: Sp 130_8 = 7540_8

Wird diese Anpassung nicht vorgenommen, überschreibt sich das Programm und bleibt stehen.

Wenn die Übertragung korrekt erfolgt, kehrt das Programm in den ODT zurück, jedoch kann mit dem Inhalt der Speicherzelle 132_8 (=BOOT, s. Programmausdruck in /20/) eine beliebige Rücksprungadresse angegeben werden.

4.10 PDP12-Programm SIMMP128: Simulation des Mikroprozessors in dem Programm FFTMP128

Funktion: Das Programm simuliert die Mikroprozessoreingaben im Programm FFTMP128, jedoch ohne digitale Mittelwertbildung. Die 100 reizsynchronen EEG-Abschnitte müssen zuvor auf U16, Block 000 - 617_8 in 4-Block-Abschnitten abgespeichert sein. Das Programm wird via AB dem Binärdeck von FFTMP128 hinzu-

addiert und dann FFTMP128 gestartet.

4.11 PDP12-Programm SIMMP256: Simulation des Mikroprozessors in dem Programm FFTMP256

Funktion: Das Programm arbeitet genauso wie das Programm SIMMP128, jedoch ist es dem Programm FFTMP256 zugeordnet (s. 4.10)

4.12 PDP12-Programm ONLOFFL: Umspeicherung von on-line-Daten für die off-line-Bearbeitung

Funktion: Das Programm ONLOFFL macht die von FFTMP128 oder FFTMP256 auf U16 gespeicherten Daten bearbeitbar für die Programme KLASS1 und KLASS2. Das Programm wird mit LOONLOFFL,XY gestartet und kehrt selbsttätig in den Monitor zurück.

4.13 PDP12-Programm FORM128: FFT für die Kriteriengewinnung in Abschnitt 2.2.3

Funktion: Wie SIMMP128 (s. 4.10), jedoch werden die 128 Werte für die Berechnung der FFT den 256 Werten des reizsynchrone EEG-Abschnitts entnommen (jeder 2.Wert).

Deshalb kann dieses Programm auch sinnvoll nach dem Aufruf des Programms ONLOFFL gestartet werden.

5. Diskussion der Ergebnisse

Bei der Auswertung der klassifizierten evozierten Potentiale wurde von einer willkürlichen klassifizierten Mittelung ausgegangen. Im Vergleich dazu zeigte sich bei der Anwendung des Verfahrens eine ähnliche Schwankung der Meßwerte bei gleichen Klassenstärken. Damit muß für alle 8 Versuchspersonen eine gleichsinnige Veränderung der Meßwerte gefordert werden, wenn das Verfahren eine sinnvolle Methode für eine klassifizierte Mittelung darstellen soll, d.h. eventuell etwas über die Vigilanz der Versuchsperson aussagen kann. Dies lies sich nur zeigen für ein Kriterium im Frequenzbereich zwischen 6.6 - 10 Hz, wo sich immer in der 3.Klasse eine Amplitudenüberhöhung ergab. Einheitliche

Latenzverschiebungen, die als wesentlich für die Erkennung von Änderungen der Vigilanz erachtet werden, konnten nicht gefunden werden. Dies muß nicht unbedingt an dem verwendeten Verfahren liegen, denn zum einen kann dies durch die verwendete Reizart bewirkt sein (es treten hier eben keine stärkeren Latenzzeitverschiebungen auf), zum anderen erschwert die sehr große Vielzahl von Klassifizierungsmöglichkeiten, ohne eine nähere theoretische Vorstellung bezüglich größerer Veränderungen, die systematische Suche nach sinnvollen Parameterkonstellationen zur Klassifizierung. Deshalb wurde in einem zweiten Schritt mit der entwickelten Methode versucht, Kriterien gemäß dem Spektrum des

kleineren EEG-Abschnitts mit dem verborgenen evozierten Potential selbst zu gewinnen. Erwartungsgemäß lies sich die theoretische Vorstellung bezüglich einer Amplitudenüberhöhung immer in ein und derselben Klasse bei allen Versuchspersonen und allen untersuchten Reizbedingungen bestätigen. Es konnte aus den 100 reizsynchrone EEG-Abschnitten sogar derjenige ermittelt werden, der das Gesamtmittel am besten wiedergibt (Beispiel 38). Diese Kriteriengewinnung scheint auf Grund der Tatsache, daß nur eine bestimmte Frequenz im Spektrum zur Klassifizierung verwendet wurde, besonders gut diejenigen verborgenen evozierten Potentiale verdeutlichen zu können, die einen besonders großen Beitrag zum evozierten Potential leisten.

In einem dritten Schritt wurde der Zeitaufwand für die Anwendung dieser Methode um den Faktor 30 reduziert, um sie bei der Vielzahl von Möglichkeiten überhaupt sinnvoll anwendbar zu machen.

Zum jetzigen Zeitpunkt kann noch kein endgültiges Urteil über den Stellenwert der in dieser Arbeit dargestellten Methode und ihrer Anwendungsmöglichkeiten gefällt werden. Erforderlich sind vor allem weitere Untersuchungen mit anderen Reizbedingungen, bei denen das evozierte Potential nicht so klar hervortritt wie in dem hier verwendeten Beispiel, also ein stärkerer Einfluß der Vigilanz auf Latenz und Amplitude des verborgenen evozierten Potentials erwartet werden muß.

6. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein neues Verfahren entwickelt, die langsamen evozierten Potentiale klassifiziert zu mitteln nach dem Leistungsspektrum des EEG in der Umgebung des Reizes (= die ersten 1536 ms nach dem Reiz) und nach dem Leistungsspektrum des zur Mittelung verwendeten EEG selbst (= die ersten 384 ms nach dem Reiz).

Angewendet wurde die Methode bei evozierten Potentialen, die mit den Reizbedingungen von Abschnitt 2.2.2 ermittelt wurden (Reizdauer 300 ms, Reizart 985 Hz Sinus mit 65 dB(A); zusätzlich wurde die Versuchsperson durch Rechenaufgaben oder Autolärm gestört).

Es konnte gezeigt werden, daß es mit dem Verfahren möglich ist, diejenigen reizsynchronen EEG-Abschnitte verdeutlichen zu können, welche einen besonders großen Beitrag zum evozierten Potential leisten.

Wegen der Vielzahl von Möglichkeiten des Verfahrens zur Auswertung und des großen Rechenaufwands ergab sich die Notwendigkeit, das Verfahren stark zu beschleunigen, d.h. möglichst on-line ablaufen zu lassen. Diese Verkürzung der Rechenzeit um das 30-fache wurde erreicht durch die Verwendung eines schnellen Multiplizierers, eines Mikroprozessor-Laborrechner-Verbundsystems, eine Einschränkung der Genauigkeit und eine Reduktion der zu berechnenden Klassifizierungsparameter. Zusätzlich wurde der Mikroprozessor als digitaler Filter eingesetzt zur primären Datenreduktion.

7. Literaturverzeichnis

/1/ Meißner, Th.

Interface zwischen einem Mittelwertrechner zur Korrektur temporärer Variabilitäten und einem Laborrechner(PDP12)
Institut für Physiologie und Biokybernetik, Erlangen
Interdisziplinäres Modell DORA, Arbeitsbericht D4-7(1977)

/2/ Total Low Power Schottky Data Book

Raytheon Semiconductor Division 1979

/3/ Harris CMOS Microprozessor Data Book, Volume 1

Harris Corporation 1979

/4/ Data Acquisition Components and Subsystems Catalog

Analog Devices 1979

/5/ PDP12 User Handbook DEC-12-GRZA-D: Digital Logic Handbook

/6/ Pauli, D.

Steuereinheit und -programm zur mikroprozessorgesteuerten Speicherung physiologischer Meßdaten auf Digitalkassetten

Institut für Physiologie und Biokybernetik, Erlangen
Interdisziplinäres Modell DORA, Arbeitsbericht D3-8(1980)

/7/ Schmidt, G.

Entwurf und Aufbau eines anpaßbaren A/D-Wandlersystems zur Messung reizausgelöster Hirnrindenspannungsschwankungen

Institut für Physiologie und Biokybernetik, Erlangen

Interdisziplinäres Modell DORA, Arbeitsbericht D3-9(1981)

/8/ Spreng, M.

Langsame Rindenpotentiale, objektive Audiometrie und
Psychoakustik

in Physiologie des Gehörs, Herausgeber W.D.Keidel

Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1975

/9/ Keidel, W.D.

The Physiological Background of the Electric Response
Audiometry

Handbook of Sensory Physiology Vol. 5/3, S. 106-231

Auditory System (Clinical and Special Topics)

Ed.: W.D.Keidel and W.D.Neff, Springer 1976

/10/Spreng, M.

Improvement of ERA speech-specific stimulation and
correction of amplitude and latency behaviour

Evoked Potentials, Proceedings of an International

Evoked Potentials Symposium held in Nottingham, England

Edited by Colin Barber, Medical and Technical Publishers
(MTP-Press), Lancaster 1979

/11/Spreng, M.

Zusatzmethoden zur Verbesserung der Aussagekraft ge-
mittelter evozierter Potentiale

Z. EEG - EMG 3, 49-56 (1972)

/12/Spreng, M.

AER-Review emphasizing the temporal component (A2) and
stimulus induced timing of primary inhibited elements

Models of the Auditory System and related Signal
Processing Techniques

(eds. M.Hoke and de Baer), Scand.Audiol.Suppl. 9 (1979)

/13/Salomon, G.

Automatic evaluation of human auditory evoked potentials
from the vertex

R.J.Bench, A.Pye and J.D.Pye (eds.)

Sound Reception in Mammals, pp. 205-235

Symp. Zool. Soc. London, No 37 (London Academic Press) 1975

/14/Steeger, G. and Reinhardt, J.

Ein Mittelwertrechner für reizausgelöste neuroelektrische
Signale variabler Latenz

Biomed. Technik, 22, 68 (1977)

/15/Gnoyke, H.

Ein modulares Softwaresystem zur Erfassung, Speicherung
und interaktiven Auswertung elektrobiologischer Signale

Institut für Physiologie und Biokybernetik, Erlangen

Interdisziplinäres Modell DORA, Arbeitsbericht D4-9(1981)

16 Hjørth, B.

EEG analysis based on time domain properties

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 29, 306-310 (1970)

17 Hjørth, B.

The physical significance of time domain descriptors
in EEG analysis

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 34, 321-325 (1973)

/18/Spreng, M. und Vollmar, R.

Klassifizierung evozierter Potentiale durch Lichtgriffel-
ausgewertete Helligkeitsmuster von EEG-FFT-Spektren
Meth. Inform. Med. 17, 177-185 (1978)

/19/Schüßler, W.

Digitale Systeme zur Signalverarbeitung
Springer Verlag 1973

/20/Pokorny, R.

Programme zu einem on-line-Verfahren zur klassifizierten
Mittelung evozierter Potenziale nach dem Leistungsspektrum
des EEG durch ein Laborrechner-Mikroprozessor-System
Institut für Physiologie und Biokybernetik, Erlangen
Interdisziplinäres Modell DORA, Arbeitsbericht D4-10(1983)

Anhang A: Beschreibung der Hardware

Interface zwischen dem Laborrechner PDP12 und dem Mikro- prozessorsystem IM6100

Das Interface besteht auf der PDP12-Seite aus der in /1/ angegebenen Normalverschaltung. Auch die Kabelverbindung und die Stiftbelegung sind die gleichen.

Anforderungen an das Interface von der PDP12 /1/ /5/ :

Die Eingabe und Ausgabe von Daten wird softwaremäßig
OPR OPR OPR
kontrolliert mit 3 Befehlen: 6371 , 6372 und 6374.

Hierbei sind die ersten 3 Stellen fest vorgegeben;
die 6 bedeutet einen Input/Output Transfer, die 37 ist
die Device-Select-Nummer für dieses Interface.

Der Aufruf einer dieser 3 Befehle löst 3 Vorgänge aus:

- a) Je nachdem, ob die letzte Stelle des Befehls eine
1, eine 2 oder eine 4 enthält, wird ein Impuls
auf der Leitung BIOP1, BIOP2 oder BIOP4 gesendet
(s. Schaltpläne im Anhang C).
- b) Der Inhalt des Akkumulators liegt an BAC0...BAC11
an, solange die Leitung DS auf H liegt, was für
4.25 Mikrosekunden während der Ausführung des Befehls
der Fall ist.
- c) Ereignisse auf der Leitung EXIT SKIP BUS ein
Übergang von L auf H, so wird der dem Aufruf folgende

Befehl übersprungen und die Leitung EXIT SKIP BUS wieder sensitiv gestellt.

Speziell wird bei dem Befehl ^{OPR} 6374 der Inhalt der Leitungen AC0...AC11 invertiert in den Akkumulator der PDP12 übernommen.

Forderungen an das Interface von dem Mikroprozessor /3/ :

Der Datentransfer vom Mikroprozessor in die PDP12 wird hardwaremäßig kontrolliert von einem Interface-Baustein PIE 6101 (Parallel Interface Element). Die Verschaltung wurde so vorgenommen, daß das verwendete PIE mit den Mikroprozessorbefehlen 607X und 606X angesprochen wird. Von den 13 möglichen Befehlen, die das PIE verstehen kann, sind für die Steuerung des Interfaces 8 Befehle ausreichend:

READ1=6060 Die Ausführung dieses Befehls verursacht einen Impuls am READ1-Ausgang des PIE's, während dessen ein peripherer Baustein Daten auf den DX-Bus geben kann, die mit dem Akkumulator-Inhalt des Mikroprozessors OR-weise verknüpft werden.

WRITE1=6061 Dieser Befehl generiert einen Impuls am WRITE1-Ausgang des PIE's, während dessen der kurz vorher am DX-Bus anliegende Inhalt des Akkumulators von einem peripheren Baustein übernommen werden kann.

WRCA=6065 Dieser Befehl liest den Inhalt des Mikroprozessorakkumulators in das A-Register des PIE's. Das A-Register steuert verschiedene Input/Output-

bedingungen (s. /3/, S. 2-31).

WRCB=6075 Dieser Befehl liest den Akkumulator in das B-Register des PIE's. Das B-Register steuert die Bedingungen für die 4 Sense-Flipflops (/3/, S. 2-31). SKIP1=6062 Dieser Befehl fragt das Sense-Flipflop 1 (Eingang SENSE1) ab entsprechend den Bedingungen von Register A. Treffen die Bedingungen zu, wird der nächste Befehl übersprungen und das Sense-Flipflop 1 wieder zurückgesetzt.

SKIP2=6063 entsprechend Befehl SKIP1

SFLAG1=6066 Dieser Befehl setzt den Ausgang FLAG1 des PIE auf H und Bit 1 und Bit 3 des Registers A auf 1.

CFLAG1=6067 Dieser Befehl setzt den Ausgang FLAG1 auf L, sowie Bit 1 und Bit 3 des Registers A auf 0.

Diese Bedingungen führen zu folgender Konzeption des Interface: Die Datentransfers werden von den beiden Rechnern per Software gesteuert. Dies bedingt zum einen, daß der Benutzer die Datenübergabe in den Programmen genau festlegen muß, ermöglicht zum anderen eine große Flexibilität. Die Datenübergabe erfolgt im sogenannten 'hand-shake-Betrieb', d.h. ein Rechner wartet auf den anderen und übergibt dann das Datenwort. Der andere Rechner muß dann den Empfang quittieren, wonach beide Rechner im Programm fortfahren. Dabei wird wegen der langen Zwischenleitungen mit statischen Pegeln gearbeitet, außer bei den Steuerleitungen.

Beschreibung der Soft- und Hardware für den Transfer eines Datenworts vom Mikroprozessor in die PDP12 (Abb.A1):

Mikroprozessor-Seite: Zunächst werden die Bedingungen für das richtige Arbeiten des PIE's gesetzt (s.u. im Programmbeispiel). Sodann wird das Datenwort in den Akkumulator des Mikroprozessors geladen und mit dem Befehl WRTITel in die 12 D-Flipflops eingelesen. Somit liegen dann die Pegel nach Verstärkung statisch an den PDP12-Eingängen an. Sodann setzt das Mikroprozessor-Programm den FLAG1 auf H, um der PDP12 anzuzeigen, daß das Datenwort übernommen werden kann. Anschließend geht das Mikroprozessor-Programm in eine Warteschleife und fragt den SENSE1-Eingang ab, ob die PDP12 den BIOP4-Impuls gesendet hat, d.h. die Daten übernommen hat. Anschließend wird FLAG1 wieder auf L gesetzt und der Datentransfer gesperrt.

PDP12-Seite: Zunächst fragt das PDP12-Programm mit dem
OPR
Befehl 6371 in einer Warteschleife, ob das Datenwort vom Mikroprozessor anliegt (der BIOP1-Impuls wird, wenn FLAG1 auf H liegt, auf die EXIT SKIP BUS-Leitung übertragen).
OPR
Sodann wird mit 6374 das Datenwort übernommen und weiter verarbeitet.

Beispiel für einen Datentransfer vom Mikroprozessor in die PDP12:

Mikroprozessorprogramm:

0160 0040 CRA , 0040

0161 XXXX DATEN, XXXX

...	...	...	...	
...	...	...	...	
0210	6007		CAF	
0211	7200		CLA	
0212	6075		WRCB	Vorbereitung des PIE's
0213	1160		TAD CRA	
0214	6065		WRCA	
...	...	...	...	
0230	7300		CLA CLL	hole Daten-
0231	1161		TAD DATEN	wort in Akku
0232	6061		WRTITel	Übergabe an PDP12
0233	7000		NOP	
0234	7000		NOP	Abklingen von Einschwing-
0235	7000		NOP	vorgängen
0236	6066		SFLAG1	PDP12 kann Daten übernehmen
0237	6062		SKIP1	Übernahme er-
0240	5237		JMP.-1	folgt?
0241	6067		CFLAG1	Datentransfer gesperrt
...	...	...	...	
PDP12-Programm:				
...	...	...	LMODE	
0433	0011		CLR	
0434	0500		OPR	liegt
0435	6371		6371	Datenwort
0436	6434		JMP.-2	an?

0437	0500	OPR	übernehme Daten-
0440	6374	6374	wort in den Akku
0441	1061	STA I 1	Wegspeichern
0442	0016	NOP	Dieser Zeitausgleich
0443	0016	NOP	wird erforderlich,
.	.	.	wenn das Programm vorsieht,
.	.	.	
0457	0016	NOP	gleich das nächste Wort zu
0460	0016	NOP	übergeben (insgesamt 15X NOP)
...	...	...	...

Beschreibung der Soft- und Hardware für den Transfer eines Datenworts von der PDP12 in den Mikroprozessor (Abb.A2):

PDP12-Seite: Zunächst liest das Programm den Inhalt des
OPR
PDP12-Akkumulators mit dem Befehl 6372 in die D-Flipflops ein. Sodann geht das PDP12-Programm in eine Warteschleife
OPR
mit dem Befehl 6371, der abfragt, ob der Mikroprozessor das Datenwort übernommen hat.

Mikroprozessor-Seite: Zunächst fragt das Programm in einer Warteschleife den SENSE2-Eingang mit dem Befehl SKIP2 ab, ob das Datenwort bereits anliegt. Sodann wird mit READ1 das Datenwort in den Mikroprozessorakkumulator übernommen und dies der PDP12 mit SFLAG1 und CFLAG1 angezeigt.

Beispiel für einen Datentransfer von der PDP12 in den Mikroprozessor:

PDP12-Programm:

...	...	...	LINC
0400	XXXX	DATEN,	XXXX

...	...	...	...	
0403	2400		ADD DATEN	Daten in den Akku
0404	0500		OPR	Daten zum Mikro-
0405	6372		6372	prozessor
0406	0500		OPR	Über-
0407	6371		6371	gabe er-
0410	6371		JMP.-2	folgt?
0411	0016		NOP	erforderlich,
0412	0016		NOP	wenn gleich das nächste
.	.		.	Datenwort über-
.	.		.	
0426	0016		NOP	geben werden soll (15X NOP)

... ..

Mikroprozessorprogramm:

0160	0040	CRA,	0040	
0161	XXXX	DATEN,	XXXX	
...	...	...	...	
0210	6007		CAF	
0211	7200		CLA	
0212	6075		TAD CRA	Vorbereitung des PIE's
0213	6065		WRCA	
...	...	...	...	
0230	7300		CLA CLL	
0231	6063		SKIP2	liegt Daten-
0232	5231		JMP.-1	wort an?
0233	6060		READ1	lese Datenwort in Akku
0234	6066		SFLAG1	zeige Übergabe an
0235	6067		CFLAG1	Datentransfer gesperrt
0236	3161		DCA DATEN	wegspeichern

Analog-Digital-Wandler für den Mikroprozessor IM6100

Diese Platine ist mit einem 10-Bit-Wandler der Fa. Analog Devices /4/ bestückt. Spannungen zwischen ± 10 V werden in einen Zahlenbereich von 0000-1777₈ umgesetzt. Hierbei entspricht der 0000 die +10 V, der 1777₈ die -10 V. Die Platine benötigt keine weitere Peripherie außer dem Mikroprozessorboard. Zur Spannungsversorgung werden ± 15 V und +5 V benötigt, wobei immer die ± 15 V vor den +5 V eingeschaltet werden müssen. Dies ist schon berücksichtigt, wenn die Platine in den freien Platz rechts neben dem 4k-Memory des mit Kassettenspeicher versehenen Mikroprozessors /6/ und /7/ eingeschoben wird. Dort sind dann auch die Verbindungen zum Trigger-Input und dem Analog-Input bereits verdrahtet (zur Frontplatte). Die Wandlung wird von dem Mikroprozessor gesteuert mit Hilfe eines PIE's (Parallel Interface Element), das den Select-Code 10100 fest verdrahtet hat, d.h. alle Befehle, die mit 65.. beginnen, sprechen die Wandler-Platine an. In der jetzigen Form wird die Abtastrate gesteuert mit einem Software-Zähler in einer Schleife des Programms (s. 4.5). Wenn jedoch an dem Mikroprozessor noch ein MEDIC 6102 mit einem programmierbaren Intervallzähler angeschlossen ist, kann mit der gleichen Platine die AD-Wandlung jeweils zu softwaremäßig definierbaren Zeiten erfolgen bis auf 2 Mikrosekunden genau und unterliegt hinsichtlich der Genauigkeit der Abtastrate nicht mehr den

in 4.5 genannten Beschränkungen.

Die reine Wandlungszeit beträgt 52 Mikrosekunden, es sind jedoch nur Abtastfrequenzen bis maximal 8 kHz ($=0.125$ ms) erreichbar. Dies ist bedingt durch die für jede Wandlung erforderlichen zusätzlichen Softwarebefehle, die noch einmal ca. 0.07 ms Zeit benötigen.

Beschreibung der Hard- und Software für eine AD-Wandlung des Mikroprozessors (Abb. A3):

Die zur Steuerung des PIE's benötigten Befehle wurden in diesem Abschnitt bereits erklärt, siehe auch in /3/.

Zunächst werden die richtigen Bedingungen für das PIE gesetzt (s.u. das Beispiel); die SENSE1- und SENSE2-Eingänge müssen edge-sensitiv auf eine steigende Flanke programmiert werden (Control-Register B = 0000^b), die Flags werden auf L gesetzt (Control-Register A = 0000). Sodann wird der SENSE2-Eingang abgefragt, ob ein Triggerimpuls eingegangen ist; das zwischengeschaltete Monoflop dient dazu, das PIE vor etwaigen Spannungsspitzen zu schützen. Die Wandlung wird mit dem Befehl SFLAG1 begonnen. Der FLAG1-Ausgang des PIE's geht dann auf H. Dies bewirkt zum einen, daß das Sample-Hold in den Hold-Mode geht, zum anderen sendet das Monoflop1 auf die ansteigende Flanke hin einen Impuls von 0.0025 ms Länge, mit dessen fallender Flanke der AD-Wandler die Wandlung beginnt. Der zwischen das Sample-Hold und den AD-Wandler geschaltete Operationsverstärker dient mit den zugehörigen Widerständen dazu, den Eingangsspannungs-

hub von -10 V...+10 V auf +10 V...0 V zu verändern. Mit der beginnenden Wandlung setzt der AD-Wandler die BUSY-Leitung auf L. Der Mikroprozessor fragt diese Leitung mit dem Befehl SKIP1 auf eine positive Flanke ab in einer Programmschleife. Ist die Wandlung beendet, geht die BUSY-Leitung auf H und das Ergebnis der Wandlung liegt an L0(=LSB)...L9(=MSB). Dann setzt das Programm mit CFLAG1 die FLAG1-Leitung wieder auf L und damit das Sample-Hold wieder in den Sample-Mode. Anschließend liest das Programm das Wandlungsergebnis mit READ1 in den Akkumulator. Eine genauere Beschreibung der weiteren externen Beschaltung des AD-Wandlers findet sich in /4/.

Programmbeispiel für eine AD-Wandlung:

0160	0060	CRB,	0060	
0161	XXXX	DATEN,	XXXX	
...	...	...	...	
0200	6007	CAF		Clear all Flags
0201	7300	CLA CLL		
0202	6505	WRCA		
0203	7200	CLA		
0204	1104	TAD CRB		Anfangsbedingungen
0205	6515	WRCB		setzen
0206	6503	SKIP2		Vorzeitiger
0207	7000	NOP		Triggerimpuls?
...	...	...	...	
0230	6503	SKIP2		

0231	5230	JMP.-1	Triggerimpuls?
0232	6506	SFLAG1	Setze Hold-Mode und Wandle!
0233	6502	SKIP1	Wandlung
0234	5233	JMP.-1	fertig?
0235	6507	CFLAG1	Setze Sample-Mode
0236	7300	CLA CLL	
0237	6500	READ1	Lese Ergebnis in den Akku
0240	3161	DCA DATEN	Wegspeichern
...	...	...	...

Anhang B: Ausdrücke von zwei in Abschnitt 4. beschriebenen

Programmen

```

2065 /
2066 / PROGRAMM FFTMP128 ARBEITET MIT
2067 / PROGRAMM MPINT128 FUER DEN MIKRO-
2070 / PROZESSOR ZUSAMMEN
2071 / BRAUCHT DISK UNIT 15 + 16
2072 / BEKOMMT EEG - DATEN VOM MIKROPROZESSOR
2073 / UND KLASSIFIZIERT DANN NACH DEM
2074 / SPEKTRUM
2075 / LAEDT FFT - PROGRAMM VON DISK DAZU
2076 / SELBSTERKLAEREND
2077 / ABSCHLUSS DER EINGABEN JEWEILS MIT :
2100 LMODE
2101 /
2102 /MACRO DEFINITIONS FOR CRR5
2103 /
2104 GO=0601
2105 BREAD=6263
2106 BWRITE=6266
2107 DBLADD=6315
2110 DBLEIV=6323
2111 DBLSUB=6320
2112 DDIAL=6314
2113 DDOCT=6331
2114 DISPDC=6334
2115 DREAD=6277
2116 DWRITE=6302
2117 ECHOFF=6310
2120 ECHON=6305
2121 HSRIN=6217
2122 INITLS=6200
2123 PUNCUT=6222
2124 RDEC=6244
2125 FDOCT=6236
2126 RDPDEC=6247
2127 READCH=6230
2130 RUNCUT=6260
2131 TDIAL=6313
2132 TREAD=6271
2133 TTYIN=6211
2134 TTYOUT=6214
2135 TWRITE=6274
2136 TYPCH=6225
2137 TYPDEC=6241
2140 TYPHF=6255
2141 TYPNEW=6203
2142 TYPCCT=6233
2143 TYPDC=6326
2144 TYPSPC=6206
2145 TYPSTR=6252
2146 /
2147 *20
2150 0020 6176 JMP M10
2151 /
2152 / KONSTANTEN
2153 /
2154 0021 0211
2155 0022 1600

```

2154	0023	0606		
2154	0024	2404		
2154	0025	4017		
2154	0026	1640		
2154	0027	0411		
2154	0030	2313		
2154	0031	5060		
2154	0032	5566		
2154	0033	5177		
2154	0034	0214		
2154	0035	5516		
2154	0036	2277		
2154	0037	3400		
255	0040	0000	PTR1,	TEXT ZBIN FFTD ON DISK(0-6)?BL-NR?NZ
2156	0041	0000	PTR2,	0 /EINLESEN FFT-
2157	0042	0000		/PROGRAMM
2160	0043	0004		0
2161	0044	0000	PTR3,	0
2162	0045	0000		0
2163	0046	6000		6000
2164	0047	0004		4
2165	0050	6240		
2165	0051	0622		
2165	0052	0521		
2165	0053	5507		
2165	0054	2205		
2165	0055	1640		
2165	0056	0405		
2165	0057	0350		
2165	0060	6055		
2165	0061	6162		
2165	0062	7051		
2165	0063	7772		
2165	0064	3400		
266	0065	0000	PTR3,	TEXT 7.2 FREQ-GREN DEC(0-128)?S\Z
2167	0066	0006	PTR4,	0 /WEGSPEICHERN
2170	0067	1000		6 /EEG+FFT
2171	0070	1002		1000
2172	0071	0000	PTR5,	0
273	0072	0006		6 /WIEDEREINLESEN
2174	0073	0000		0 /FFT
2175	0074	1001		1001
2176	0075	1501		
2176	0076	3001		
2176	0077	0422		
2176	0100	7560		
2176	0101	5415		
2176	0102	0130		
2176	0103	2722		
2176	0104	2475		
2176	0105	6154		
2176	0106	1116		
2176	0107	2475		
2176	0110	6254		
2176	0111	1527		
2176	0112	7563		
2176	0113	7234		
277	0114	0000	PTR6,	TEXT ZMAXADR=0,MAXWRT=1,INT=2,MW=3\Z
2200	0115	0000	PTR7,	0 /FUER
2201	0116	0000	WRT,	0 /INTEGRATION +
				0 /MW

2202	0117	0000	0	- 83 -	
2203	0120	0000	0		/DBLADD
2204	0121	0000	0		
2205	0122	0000	0		
2206	0123	0000	0		
2207	0124	0000	PTR10,	0	/HOLE EEG
2210	0125	0000		6	
2211	0126	3000		3000	
2212	0127	1001		1001	
2213	0130	0000	PTR11,	0	/AUSGABE
2214	0131	0005		5	
2215	0132	0000		000	
2216	0133	1004		1004	
2217	0134	0522			
2217	0135	0705			
2217	0136	0216			
2217	0137	5601			
2217	0140	2506			
2217	0141	4025			
2217	0142	6165			
2217	0143	4001			
2217	0144	0240			
2217	0145	0214			
2217	0146	7772			
2217	0147	3400			
2217			PTR12,	TEXT ZERGERN.AUF U15 AB BL7:VZ	
2220	0150	0000	GREN1,	0	/1.FREQ-GRENZE
2221	0151	0000	GREN2,	0	/2.FREQ-GRENZE
2222	0152	0000	NREMAX,	0	/FUER
2223	0153	0000	NLIMAX,	0	/INTEGRAL
2224	0154	0000	MINSF,	0	/KLEINSTER SF
2225	0155	0000	PMAXAD,	0	/WAHLT
2226	0156	0000	PMAXWR,	0	/KLASS-
2227	0157	0000	PINT,	0	/ART
2230	0160	0000	PMW,	0	/AUS
2231	0161	0000	MAXADR,	0	/...+2000
2232	0162	0000	MAXAD1,	0	/REALER WERT
2233	0163	0000	MAXWRT,	0	
2234	0164	0000	INT,	0	
2235	0165	0000	MW,	0	
2236	0166	0000	KLASS,	0	/KLASS-WERT
2237	0167	1511			
2237	0170	2424			
2237	0171	0514			
2237	0172	2516			
2237	0173	0705			
2237	0174	1672			
2237	0175	3400			
2237			PTR13,	TEXT ZMITTELUNGEN:VZ	
2240				*176	
2241	0176	0601	M10,	GC	
2242	0177	6200		INITLS	
2243	0200	0601		GC	
2244	0201	6203		TYPNEW	
2245			/		
2246			/	EINLESEN FFT-TEIL	
2247			/		
2250	0202	1020		LDA I	
2251	0203	0021		PTR1	
2252	0204	0601		GC	
2253	0205	6252		TYPSTR	
2254	0206	0601		GC	
2255	0207	6236		ELCC1	

- 84 -

2454	0373	0644	M30,	LDF 4	/CLEAR LDF 4
2455	0374	1020		LDA I	
2456	0375	3777		3777	
2457	0376	4010		STC 10	
2460	0377	1070		STA I 10	
2461	0400	0210		XSK 10	
2462	0401	6377		JMP *-2	
2463	0402	0645		LDF 5	/CLEAR LDF5
064	0403	1020		LDA I	
2465	0404	3777		3777	
2466	0405	4010		STC 10	
2467	0406	1070		STA I 10	
2470	0407	0210		XSK 10	
2471	0410	6406		JMP *-2	
2472	0411	6415		JMP M33	
2473				*415	
2474	0415	0016	M33,	NOP	
2475	0416	0644		LDF 4	/1. 256 WERTE
076	0417	1020		LDA I	/NACH
2477	0420	1377		1377	/11000-11377
2500	0421	4002		STC 2	
2501	0422	1020		LDA I	
2502	0423	2777		2777	
2503	0424	4001		STC 1	
2504	0425	0011	M40,	CLR	
2505	0426	0016		NOP	
2506	0427	0016		NOP	
2507	0430	0016		NOP	
2510	0431	0016		NCP	
2511	0432	0016		NCP	
2512	0433	0016		NOP	
2513	0434	0500		0500	/OPR
2514	0435	6371		6371	
2515	0436	6434		JMP *-2	
2516	0437	0500		0500	/OPR
2517	0440	6374		6374	
2520	0441	0017		CCM	
2521	0442	1560		BCL I	
2522	0443	6000		6000	
2523	0444	1120		ADA I	
2524	0445	6777		-1000	
2525	0446	1061		STA I 1	
2526	0447	0222		XSK I 2	
2527	0450	6425		JMP M40	
2530	0451	1020		LDA I	/2 128 WERTE
831	0452	3777		3777	/NACH
2532	0453	4001		STC 1	/10000-10177
2533	0454	1020		LDA I	
2534	0455	1577		1577	
2535	0456	4002		STC 2	
2536	0457	0011	M50,	CLR	
2537	0460	0016		NOP	
2540	0461	0016		NCP	
2541	0462	0016		NCP	
2542	0463	0016		NCP	
2543	0464	0016		NCP	
2544	0465	0016		NOP	
2545	0466	0500		0500	/OPR
2546	0467	6371		6371	
2547	0470	6466		JMP *-2	
2550	0471	0500		0500	/OPR
2551	0472	6374		6374	
2552	0473	0017		CCM	

```

2256      0210      6176      JMP M10
2257      0211      1040      STA          - 85 -
2260      0212      0041      PTRB+1
2261      0213      4045      STC PTRB+1
2262      0214      0601      GC
2263      0215      6236      RDOCT
2264      0216      6176      JMP M10
2265      0217      1120      ADA I
2266      0220      0001      1
2267      0221      1040      STA
2270      0222      0040      PTRB
2271      0223      1120      ADA I
2272      0224      0012      12
2273      0225      4044      STC PTRB
2274      0226      1020      LDA I
2275      0227      0040      PTRB
2276      0230      0601      GO
2277      0231      6277      DREAD
2300      0232      6176      JMP M10
2301      0233      6176      JMP M10
2302      0234      1020      LDA I
2303      0235      0044      PTRB
2304      0236      0601      GO
2305      0237      6277      DREAD
2306      0240      6176      JMP M10
2307      0241      6176      JMP M10
2310      0242      0601      GO
2311      0243      6203      TYPNEW
2312      /
2313      / EINGABE DER 2 FREQ-GRENZEN
2314      /
2315      0244      1020      M20, LDA I
2316      0245      0050      PTR3
2317      0246      0601      GO
2320      0247      6252      TYPSTR
2321      0250      0011      CLR
2322      0251      0601      GO
2323      0252      6247      RDPDEC
2324      0253      6244      JMP M20
2325      0254      1120      ADA I
2326      0255      2000      2000
2327      0256      4150      STC GREN1
2330      0257      0601      GC
2331      0260      6247      RDPDEC
2332      0261      6244      JMP M20
2333      0262      1120      ADA I
2334      0263      2000      2000
2335      0264      4151      STC GREN2
2336      /
2337      / KONSTANTEN EINGEBEN U. SETZEN
2340      /
2341      0265      1020      LDA I          /FUER
2342      0266      0003      0003          /INTEGRAL
2343      0267      1040      STA
2344      0270      0152      NREMAX
2345      0271      4153      STC NLIMAX
2346      0272      0601      GC
2347      0273      6203      TYPNEW
2350      0274      0011      CLR
2351      0275      4155      STC PMAXAD
2352      0276      4156      STC PMAXWR
2353      0277      4157      STC PINT
2354      0300      4160      STC PMV

```

2355	0301	1020	M23.	LDA I	
2356	0302	0075		PTR6.	
2357	0303	0601		GO	
2360	0304	6252		TYPSTR	
2361	0305	0601		GO	
2362	0306	6236		RDCCT.	
2363	0307	6301		JMP M23	
2364	0310	1460		SAE I	
2365	0311	0000		0	
2366	0312	6314		JMP .+2	
2367	0313	6330		JMP M24	
2370	0314	1460		SAE I	
2371	0315	0001		1	
2372	0316	6320		JMP .+2	
2373	0317	6334		JMP M25	
2374	0320	1460		SAE I	
2375	0321	0002		2	
2376	0322	6324		JMP .+2	
2377	0323	6340		JMP M26	
2400	0324	1020		LDA I	
2401	0325	0001		1	
2402	0326	4160		STC PMW	
2403	0327	6343		JMP M27	
2404	0330	1020	M24.	LDA I	
2405	0331	0001		1	
2406	0332	4155		STC PMAXAD	
2407	0333	6343		JMP M27	
2410	0334	1020	M25.	LDA I	
2411	0335	0001		1	
2412	0336	4156		STC PMAXWR	
2413	0337	6343		JMP M27	
2414	0340	1020	M26.	LDA I	
2415	0341	0001		1	
2416	0342	4157		STC PINT	
2417	0343	0601	M27.	GO	
2420	0344	6203		TYPNEW	
2421	0345	1020		LDA I	
2422	0346	0134		PTR12	
2423	0347	0601		GO	
2424	0350	6252		TYPSTR	
2425	0351	0601		GO	
2426	0352	6236		RDCCT	
2427	0353	6343		JMP M27	
2430	0354	4130		STC PTR11	
2431	0355	6357		JMP M27A	
2432				*356	
2433	0356	0000		0000	
2434	0357	1020	M27A.	LDA I	/FUER SF-
2435	0360	3777		3777	/ABSPEICHERUNG
2436	0361	4017		STC 17	/FUER DISK-
2437	0362	4065		STC PTR4	/ABSPEICHERUNG
2440	0363	1020		LDA I	/FUER
2441	0364	0001		1	/EINLESEN VON
2442	0365	4071		STC PTR5	/DISK
2443	0366	1020		LDA I	/ZAEHLER
2444	0367	3777		3777	/FUER
2445	0370	4016		STC 16	/SF-FAKTOREN
2446	0371	4013		STC 13	/ANZ 1.KLASSE
2447	0372	4014		STC 14	/ANZ 2.KLASSE
2450			/		
2451			/	HOLE EFG + FFT-WERTE	
2452			/	VCM MIKROPROZESSOR	
2453			/		

2553	0474	1560	RCL I	
2554	0475	6000	6000	
2555	0476	1120	ATA I	
2556	0477	6777	-1000	
2557	0500	1061	STA I 1	
2560	0501	0022	XSK I 2	
2561	0502	6457	JMP M50	
2562	0503	6503	JMP M55	
2563			*503	
2564			/	
2565			/ DO FFT	
2566			/	
2567	0503	0016	M55,	NOP
2570	0504	0640		LDF 0
2571	0505	0011		CLR
2572	0506	1020		LDA I
2573	0507	0200		0200
2574	0510	1040		STA
2575	0511	2003		2003
2576	0512	0011		CLR
2577	0513	1020		LDA I
2600	0514	0007		0007
2601	0515	1040		STA
2602	0516	2004		2004
2603	0517	0002		PDP
2604				PMODE
2605	4520	6201		6201
2606	4521	4446		4446
2607	4522	7000		NOP
2610	4523	4442		4442
2611	4524	7200		CLA
2612	4525	1053		1053
2613	4526	6141		LINC
2614				LINCDE
2615	0527	0646		LDF 6
2616	0530	1077		STA I 17
2617				/SF NACH 14000-
2620			/	
2621			/ 12000-12177 NACH 10200-10377	
2622			/	
2622	0531	1020	M60,	LDA I
2623	0532	3777		3777
2624	0533	4010		STC 10
2625	0534	1020		LDA I
2626	0535	2177		2177
2627	0536	4011		STC 11
2630	0537	1020		LDA I
2631	0540	1577		1577
2632	0541	4012		STC 12
2633	0542	0645	M70,	LDF 5
2634	0543	1030		LDA I 10
2635	0544	0644		LDF 4
2636	0545	1071		STA I 11
2637	0546	0232		XSK I 12
2640	0547	6542		JMP M70
2641			/	
2642			/ MAGNITUDE	
2643			/	
2644	0550	0011		CLR
2645	0551	0643		LDF 3
2646	0552	1040		STA
2647	0553	2053		2053
2650	0554	1020		LDA I
2651	0555	0602		2602

2652	0556	1040	STA		/TO
2653	0557	2131	2131	- 88 -	/6131
2654	0560	1020	LDA I		
2655	0561	6141	6141		/LINC
2656	0562	1040	STA		/TO
2657	0563	2130	2130		/6130
2660	0564	1020	LDA I		
2661	0565	6601	M100+6000		/GO BACK
2662	0566	1040	STA		/TO
2663	0567	2132	2132		/6132
2664	0570	0002	PDP		
2665			Pmode		
2666	4571	7200	CLA		
2667	4572	1003	1003		/TAD N
2670	4573	7110	CLL RAR		
2671	4574	3037	3037		/DCA GR
2672	4575	1037	1037		/TAD GR
2673	4576	7041	CIA		
2674	4577	3033	3033		/DCA ADD2
2675	4600	5476	5476		/JMP I PDPmag
2676			Lmode		
2677			/		
2700			/	ABSPEICHERN VON EEG,FFT U. SF	
2701			/		
2702	0601	0011	M100, CLR		/12100-12177
2703	0602	1020	LDA I		/TO
2704	0603	2077	2077		/11400-11777
2705	0604	4010	STC 10		
2706	0605	1020	LDA I		
2707	0606	3377	3377		
2710	0607	4011	STC 11		
2711	0610	0645	M110, LDF 5		
2712	0611	1030	LDA I 10		
2713	0612	0644	LDF 4		
2714	0613	1071	STA I 11		
2715	0614	0011	CLR		/NULL
2716	0615	1071	STA I 11		/ZWISCHENSP.
2717	0616	0211	XSK 11		
2720	0617	6610	JMP M110		
2721	0620	0646	LDF 6		
2722	0621	1017	LDA 17		/SF TO
2723	0622	0644	LDF 4		
2724	0623	1051	STA 11		/11777
2725	0624	1020	LDA I		/TO DISK U16
2726	0625	0065	PTR4		
2727	0626	0001	GO		
2730	0627	6302	DWRITE		
2731	0630	0016	NOP		
2732	0631	0016	NCP		
2733	0632	0011	CLR		
2734	0633	2065	ADD PTR4		
2735	0634	1120	ADA I		
2736	0635	0022	2		
2737	0636	1040	STA		
2740	0637	0065	PTR4		
2741	0640	1460	SAE I		
2742	0641	0310	0310		
2743	0642	6373	JMP M30		
2744			/		
2745			/	ERMITTLUNG DES KLEINSTEN SF	
2746			/	IN 14000-14143	
2747			/		
2753	0643	0640	LDF 6		

```

2751      0644  1020      LDA I      - 89 -
2752      0645  2000      2000
2753      0646  4010      STC 10
2754      0647  1010      LDA 10
2755      0650  4154      STC MINSF
2756      0651  1030  M120, LDA I'10
2757      0652  0017      COM
2760      0653  2154      ADD MINSF
2761      0654  0451      AP0
2762      0655  6660      JMP .+3
2763      0656  1010      LDA 10
2764      0657  4154      STC MINSF
2765      0660  0011      CLR
2766      0661  2010      ADD 10
2767      0662  1460      SAE I
2770      0663  2143      2143
2771      0664  6651      JMP M120
2772
2773      / SCR-FAKTOREN NACH 14000-14143
2774      /
2775      0665  1020      LDA I
2776      0666  3777      3777
2777      0667  4010      STC 10
3000      0670  0011  M130, CLR
3001      0671  2154      ADD MINSF
3002      0672  0017      COM
3003      0673  1130      ADA I 10
3004      0674  0470      AZE I
3005      0675  0011      CLR
3006      0676  1050      STA 10
3007      0677  0011      CLR
3010      0700  2010      ADD 10
3011      0701  1460      SAE I
3012      0702  2143      2143
3013      0703  6670      JMP M130
3014      0704  0011      CLR      /FUER
3015      0705  1020      LDA I      /MW,INT,...
3016      0706  3777      3777      /
3017      0707  4015      STC 15      /
3020      0710  1020      LDA I      /FUER FFT
3021      0711  0001      1      /EINLESEN
3022      0712  4071      STC PTF5
3023
3024      / EINLESEN FFT NACH 10000-10377
3025      /
3026      0713  1020  M140, LDA I
3027      0714  0071      PTR5
3030      0715  0601      GO
3031      0716  6277      IREAD
3032      0717  0016      NOP
3033      0720  0016      NOP
3034
3035      / SCALING DFS SPEKTRUMS
3036      /
3037      0721  1020      LDA I
3040      0722  3777      3777
3041      0723  4010      STC 10      /F. FFT-WERT
3042      0724  0646      LDF 6
3043      0725  1036      LDA I 16
3044      0726  1120      ADA I
3045      0727  0340      0340
3046      0730  4733      STC M160      /AKTUELL.SCP
3047      0731  0644      LFF 4

```

```

3050      0732 1030 M150, LDA I 10 - 90 -
3051      0733 0000 M160, 0
3052      0734 1050 STA 10
3053      0735 0011 CLR
3054      0736 2010 ADD 10
3055      0737 1460 SAE I
3056      0740 2377 2377
3057      0741 6732 JMP M150
3060
3061      /
3062      / WELCHES VERFAHREN?
3063      /
3063      0742 0011 CLR
3064      0743 2160 ADD PMW
3065      0744 0450 AZE
3066      0745 7127 JMP M250
3067
3070      /
3070      / MAX-ROUTINE
3071      /
3072      0746 2150 ADD GREN1
3073      0747 1040 STA
3074      0750 0161 MAXADR
3075      0751 4010 STC 10
3076      0752 1010 LDA 10
3077      0753 0451 APO
3100      0754 0011 CLR
3101      0755 4163 STC MAXWRT
3102      0756 1000 M170, LDA
3103      0757 0010 10
3104      0760 1120 ADA I
3105      0761 0001 I
3106      0762 1440 SAE
3107      0763 0151 GREN2
3110      0764 6766 JMP .+2
3111      0765 7003 JMP M200
3112      0766 1030 LDA I 10
3113      0767 0451 APO
3114      0770 6756 JMP M170
3115      0771 0017 COM
3116      0772 2163 ADD MAXWRT
3117      0773 0451 APO
3120      0774 6776 JMP .+2
3121      0775 6756 JMP M170
3122      0776 1010 LDA 10
3123      0777 4163 STC MAXWRT
3124      1000 2010 ADD 10
3125      1001 4161 STC MAXADR
3126      1002 6756 JMP M170
3127      1003 0011 M200, CLR
3130      1004 2161 ADD MAXADR
3131      1005 1120 ADA I
3132      1006 5777 -2000
3133      1007 4162 STC MAXADR1
3134
3135      /
3135      / INT-ROUTINE
3136      /
3137      1010 0011 CLR
3140      1011 2157 ADD PINT
3141      1012 0450 AZE
3142      1013 7015 JMP .+2
3143      1014 7206 JMP M315
3144      1015 0011 CLR
3145      1016 2153 ATT NLTMAX
3146      1017 0017 COM

```

3147	1020	2161	ADD MAXADR - 91 -	
3150	1021	4003	STC 3	/UNTERE INT-GRE
3151	1022	2161	ADD MAXADR	
3152	1023	2152	ADD NEFMAY	
3153	1024	4002	STC 2	/OBERE INT-GRFNZ
3154	1025	2003	ADD 3	
3155	1026	1120	ADA 1	
3156	1027	5777	-2000	
3157	1030	0471	APC 1	/UNTERER
3160	1031	7035	JMP .+4	/BEREICH
3161	1032	1020	LDA 1	/UEBERSCHRITTEN?
3162	1033	2000	2000	
3163	1034	4003	STC 3	
3164	1035	0011	CLR	
3165	1036	2002	ADD 2	
3166	1037	1120	ADA 1	
3167	1040	5401	-2376	
3170	1041	0451	APC	/OBERER BEREICH
3171	1042	7046	JMP .+4	/UEBERSCHRITTEN?
3172	1043	1020	LDA 1	
3173	1044	2376	2376	
3174	1045	4002	STC 2	
3175	1046	0011	CLR	
3176	1047	2003	ADD 3	
3177	1050	0017	COM	
3200	1051	2002	ADD 2	
3201	1052	1120	ADA 1	
3202	1053	0001	1	
3203	1054	4001	STC 1	/ANZ. INTEGRATION
3204	1055	1003	LDA 3	
3205	1056	4115	STC WRT	
3206	1057	4114	STC PTR7	
3207	1060	4116	STC PTR7+2	
3210	1061	1023	LDA 1 3	
3211	1062	4117	STC PTR7+3	
3212	1063	1020	LDA 1	
3213	1064	0114	PTR7	
3214	1065	0601	GO	
3215	1066	6315	DRLADD	
3216	1067	7072	JMP .+3	
3217	1070	0000	0	
3220	1071	0000	0	
3221	1072	0011	CLR	
3222	1073	3070	ADD M210	
3223	1074	4114	STC PTR7	
3224	1075	3071	ADD M220	
3225	1076	4115	STC WRT	
3226	1077	4116	STC PTR7+2	
3227	1100	2003	ADD 3	
3230	1101	1440	SAF	
3231	1102	0002	2	
3232	1103	7061	JMP M205	
3233	1104	0011	CLR	
3234	1105	2001	ADD 1	
3235	1106	4117	STC PTR7+3	
3236	1107	4116	STC PTR7+2	
3237	1110	1020	LDA 1	
3240	1111	0114	PTR7	
3241	1112	0601	GO	
3242	1113	6323	DRLDIV	
3243	1114	7117	JMP .+3	
3244	1115	0000	0	
3245	1116	0000	0	

3246	1117	0011	CLR
3247	1120	3116	ADD M240
3250	1121	4164	STC INT
3251	1122	0645	LDF 5
3252	1123	0011	CLR
3253	1124	2164	ADD INT
3254	1125	1075	STA I 15
3255	1126	7222	JMP M320
3256			/
3257			/ MW-ROUTINE
3260			/
3261	1127	0011	M250, CLR
3262	1130	2150	ADD GREN1
3263	1131	4001	STC 1
3264	1132	1001	LDA 1
3265	1133	4115	STC WRT
3266	1134	4114	STC PTR7
3267	1135	4116	STC PTR7+2
3270	1136	1021	M255, LDA I 1
3271	1137	4117	STC PTR7+3
3272	1140	1020	LDA I
3273	1141	0114	PTR7
3274	1142	0601	GO
3275	1143	6315	DBLADD
3276	1144	7147	JMP .+3
3277	1145	0000	M260, 0
3300	1146	0000	M270, 0
3301	1147	0011	CLR
3302	1150	3145	ADD M260
3303	1151	4114	STC PTR7
3304	1152	3146	ADD M270
3305	1153	4115	STC WRT
3306	1154	4116	STC PTR7+2
3307	1155	2001	ADD 1
3310	1156	1440	SAE
3311	1157	0151	GREN2
3312	1160	7136	JMP M255
3313	1161	0011	CLR
3314	1162	2150	ADD GREN1
3315	1163	0017	COM
3316	1164	2151	ADD GREN2
3317	1165	4117	STC PTR7+3
3320	1166	4116	STC PTR7+2
3321	1167	1020	LDA I
3322	1170	0114	PTR7
3323	1171	0601	GO
3324	1172	6323	DBLDIV
3325	1173	7176	JMP .+3
3326	1174	0000	M300, 0
3327	1175	0000	M310, 0
3330	1176	0011	CLR
3331	1177	3175	ADD M310
3332	1200	4165	STC MW
3333	1201	0645	LDF 5
3334	1202	0011	CLR
3335	1203	2165	ADD MW
3336	1204	1075	STA I 15
3337	1205	7222	JMP M320
3340	1206	0011	M315, CLR
3341	1207	0645	LDF 5
3342	1210	2155	ADD PMAXAD
3343	1211	2450	AZE
3344	1212	7217	JMP .+5

3345	1213	0011	CLR	
3346	1214	2163	ADD MAXWRT	- 93 -
3347	1215	1075	STA I 15	
3350	1216	7222	JMP M320	
3351	1217	0011	CLR	
3352	1220	2162	ADD MAXADI	
3353	1221	1075	STA I 15	
3354	1222	0011	CLR	M320,
3355	1223	2071	ADD PTR5	
3356	1224	1460	SAE I	
3357	1225	0307	0307	
3360	1226	7230	JMP .+2	
3361	1227	7236	JMP M330	
3362	1230	0011	CLR	
3363	1231	2071	ADD PTR5	
3364	1232	1120	ADA I	
3365	1233	0002	2	
3366	1234	4071	STC PTR5	
3367	1235	6713	JMP M140	
3370			/	
3371			/ KLASSIFIZIERUNG IN 2 KLASSEN	
3372			/	
3373	1236	0011	M330, CLR	
3374	1237	0645	LDF 5	
3375	1240	1020	LDA I	
3376	1241	3777	3777	
3377	1242	4010	STC 10	
3400	1243	4120	STC OP	
3401	1244	4122	STC OP+2	
3402	1245	1030	LDA I 10	
3403	1246	4121	STC OP+1	
3404	1247	1030	M335, LDA I 10	
3405	1250	4123	STC OP+3	
3406	1251	1020	LDA I	
3407	1252	0120	OP	
3410	1253	0601	GO	
3411	1254	6315	DBLADD	
3412	1255	7260	JMP .+3	
3413	1256	0000	M340, 0	
3414	1257	0000	M350, 0	
3415	1260	0011	CLR	
3416	1261	3256	ADD M340	
3417	1262	4120	STC OP	
3420	1263	3257	ADD M350	
3421	1264	4121	STC OP+1	
3422	1265	4122	STC OP+2	
3423	1266	2010	ADD 10	
3424	1267	1460	SAE I	
3425	1270	2143	2143	
3426	1271	7247	JMP M335	
3427	1272	0011	CLR	
3430	1273	1020	LDA I	
3431	1274	0143	143	
3432	1275	4123	STC OP+3	
3433	1276	4122	STC OP+2	
3434	1277	1020	LDA I	
3435	1300	0120	OP	
3436	1301	0601	GO	
3437	1302	6323	DBLDIV	
3440	1303	7306	JMP .+3	
3441	1304	0000	M360, 0	
3442	1305	0000	M370, 0	
3443	1306	0011	CLR	

3444	1307	3305	ADD M370 - 94 -	
3445	1310	4166	STC KCLASS	/KCLASS-WERT
3446			/	
3447			/	AUFADDIEREN IN DOUBLE PREC
3450			/	
3451	1311	1020	LDA I	
3452	1312	0000	0	
3453	1313	4124	STC PTR10	
3454	1314	1020	LDA I	
3455	1315	3777	3777	
3456	1316	4010	STC 10	/ZAEHLER INT,MW.
3457	1317	4011	STC 11	/1.ZAEHLER ADD
460	1320	4012	STC 12	/2.ZAEHLER ADD
3461	1321	0644	LDF 4	/0 IN LDF 4
3462	1322	1020	LDA I	
3463	1323	2000	2000	
3464	1324	4005	STC 5	
3465	1325	1045	STA 5	
3466	1326	1065	STA I 5	
3467	1327	0205	XSK 5	
3470	1330	7326	JMP -2	
3471	1331	0646	LDF 6	/0 IN LDF 6
3472	1332	1020	LDA I	
3473	1333	2000	2000	
3474	1334	4005	STC 5	
3475	1335	1045	STA 5	
3476	1336	1065	STA I 5	
3477	1337	0205	XSK 5	
3500	1340	7336	JMP -2	
3501	1341	1020	LDA I	
3502	1342	0124	PTR10	
3503	1343	0601	GO	
3504	1344	6277	DREAD	
3505	1345	0016	NOP	
3506	1346	0016	NOP	
3507	1347	0645	LDF 5	
3510	1350	0011	CLR	
3511	1351	2166	ADD KCLASS	
3512	1352	0017	COM	
3513	1353	1130	ADA I 10	
3514	1354	0451	AP0	
3515	1355	7370	JMP M410	
3516	1356	0232	XSK I 12	
3517	1357	0016	NOP	
3520	1360	0233	XSK I 13	
3521	1361	0016	NOP	
3522	1362	1020	LDA I	
3523	1363	0646	646	
3524	1364	1040	STA	
3525	1365	1435	M460	
3526	1366	5421	STC M435	
3527	1367	7401	JMP M420	
3530	1370	0231	XSK I 11	
3531	1371	0016	NOP	
3532	1372	0234	XSK I 14	
3533	1373	0016	NCP	
3534	1374	1020	LDA I	
3535	1375	0644	644	
3536	1376	1040	STA	
3537	1377	1435	M460	
3540	1400	5421	STC M435	
3541	1401	1020	LDA I	
3542	1402	3777	3777	

3543	1403	1040	STA	- 95 -	
3544	1404	0005	5		/1. ZAFHLER DBLAD
3545	1405	1020	LDA I		
3546	1406	2000	2000		
3547	1407	4006	STC 6		/2. ZAFHLER DBLAD
3548	1410	1020	LDA I		
3551	1411	2777	2777		
3552	1412	4007	STC 7		/3. ZAFHLER EEG-TAR
3553	1413	0645	LDI 5		
3554	1414	1027	LDA I 7		
3555	1415	1120	ADA I	/	
3556	1416	1000	1000	/	
3557	1417	4123	STC OP+3		
3560	1420	4122	STC OP+2		
3561	1421	0000	0		
3562	1422	1025	LDA I 5		
3563	1423	4121	STC OP+1		
3564	1424	1026	LDA I 6		
3565	1425	4120	STC OP		
3566	1426	1020	LDA I		
3567	1427	0120	OP		
3570	1430	0601	GO		
3571	1431	6315	DBLADD		
3572	1432	7435	JMP +3		
3573	1433	0000	0		
3574	1434	0000	0		
3575	1435	0000	0		
3576	1436	0011	CLR		
3577	1437	3434	ADD M450		
3600	1440	1045	STA 5		
3601	1441	0011	CLR		
3602	1442	3433	ADD M440		
3603	1443	1046	STA 6		
3604	1444	0225	XSK I 5		
3605	1445	0016	NCP		
3606	1446	0226	XSK I 6		
3607	1447	0016	NCP		
3610	1450	2007	ADD 7		
3611	1451	1460	SAE I		
3612	1452	3377	3377		
3613	1453	7413	JMP M430		
3614	1454	0011	CLR		
3615	1455	2124	ADD PTR10		
3616	1456	1120	ADA I		
3617	1457	0002	2		
3620	1460	4124	STC PTR10		
3621	1461	2010	ADD 10		
3622	1462	1460	SAF I		
3623	1463	2143	2143		
3624	1464	7341	JMP M400		
3625			/		
3626			/ GESAMTMITTEL NACH 13000-13777		
3627			/		
3630	1465	1020	LDA I	/12000-12143	
3631	1466	3777	3777	/TC	
3632	1467	4010	STC 10	/11400-11543	
3633	1470	1020	LDA I		
3634	1471	3377	3377		
3635	1472	4011	STC 11		
3636	1473	0645	LDI 5		
3637	1474	1030	LDA I 12		
3640	1475	0644	LDI 4		
3641	1476	1071	STA I 11		

3642	1477	0011	CLR	
3643	1500	2011	ADD 11	
3644	1501	1460	SAE I	
3645	1502	3543	3543	
3646	1503	7473	JMP M465	
3647	1504	0645	LDF 5	/0 IN LDF 5
3650	1505	1020	LDA I	
3651	1506	3777	3777	
3652	1507	4005	STC 5	
3653	1510	1065	STA I 5	
3654	1511	0205	XSK 5	
3655	1512	7510	JMP .-2	
3656	1513	1020	LDA I	
3657	1514	3777	3777	
3660	1515	4010	STC 10	
3661	1516	1020	LDA I	
3662	1517	2000	2000	
3663	1520	4011	STC 11	
3664	1521	0644	LDF 4	
3665	1522	1030	LDA I 10	
3666	1523	4121	STC OP+1	
3667	1524	1031	LDA I 11	
3670	1525	4120	STC OP	
3671	1526	0646	LDF 6	
3672	1527	1010	LDA 10	
3673	1530	4123	STC OP+3	
3674	1531	1011	LDA 11	
3675	1532	4122	STC OP+2	
3676	1533	1020	LDA I	
3677	1534	0120	OP	
3700	1535	0601	GC	
3701	1536	6315	DBLADD	
3702	1537	7542	JMP .+3	
3703	1540	0000	0	
3704	1541	0000	0	
3705	1542	0011	CLR	
3706	1543	0645	LDF 5	
3707	1544	3541	ADD M510	
3710	1545	1050	STA 10	
3711	1546	0011	CLR	
3712	1547	3540	ADD M500	
3713	1550	1051	STA 11	
3714	1551	0230	XSK I 10	
3715	1552	0016	NOP	
3716	1553	0231	XSK I 11	
3717	1554	0016	NOP	
3720	1555	0011	CLR	
3721	1556	2010	ADD 10	
3722	1557	1460	SAE I	
3723	1560	2777	2777	
3724	1561	7521	JMP M470	
3725			/	
3726			/ DBLPREC INTO SINGLEPREC	
3727			/	
3730	1562	0644	LDF 4	
3731	1563	0011	CLR	
3732	1564	4122	STC OP+2	
3733	1565	2014	ADD 14	/1-KLASSE
3734	1566	4123	STC OP+3	
3735	1567	1020	LDA I	
3736	1570	3777	3777	
3737	1571	4010	STC 10	
3740	1572	1020	LDA I	

3741	1573	3777	3777	
3742	1574	4011	STC 11	
3743	1575	1030	LDA I 10	
3744	1576	4121	STC OP+1	
3745	1577	1030	LDA I 10	
3746	1600	4120	STC OP	
3747	1601	1020	LDA I	
3750	1602	0120	CP	
3751	1603	0601	GO	
3752	1604	6323	DBLDIV	
3753	1605	7610	JMP .+3	
3754	1606	0000	0	
3755	1607	0000	0	
3756	1610	0011	CLR	
3757	1611	3607	ADD M522	
3760	1612	1120	ADA I	/
3761	1613	6777	-1000	/
3762	1614	1071	STA I 11	
3763	1615	0011	CLR	
3764	1616	2011	ADD 11	
3765	1617	1460	SAE I	
3766	1620	2377	2377	
3767	1621	7575	JMP M520	
3770	1622	0011	CLR	/2.KLASSE
3771	1623	4122	STC OP+2	
3772	1624	2013	ADD 13	
3773	1625	4123	STC OP+3	
3774	1626	1020	LDA I	
3775	1627	3777	3777	
3776	1630	4010	STC 10	
3777	1631	1020	LDA I	
4000	1632	2377	2377	
4001	1633	4011	STC 11	
4002	1634	0646	LDF 6	
4003	1635	1030	LDA I 10	
4004	1636	4121	STC OP+1	
4005	1637	1030	LDA I 10	
4006	1640	4120	STC OP	
4007	1641	1020	LDA I	
4010	1642	0120	CP	
4011	1643	0601	GO	
4012	1644	6323	DBLDIV	
4013	1645	7650	JMP .+3	
4014	1646	0000	0	
4015	1647	0000	0	
4016	1650	0011	CLR	
4017	1651	0644	LDF 4	
4020	1652	3647	ADD M527	
4021	1653	1120	ADA I	/
4022	1654	6777	-1000	/
4023	1655	1071	STA I 11	
4024	1656	0011	CLR	
4025	1657	2011	ADD 11	
4026	1660	1460	SAE I	
4027	1661	2777	2777	
4030	1662	7634	JMP M525	
4031	1663	0011	CLR	/GESAMTMITTEL
4032	1664	4122	STC CP+2	
4033	1665	1020	LDA I	
4034	1666	0144	144	
4035	1667	4123	STC OP+3	
4036	1670	1020	LDA I	
4037	1671	3777	3777	

4040	1672	4010	STC 10	
4041	1673	1020	LDA I	
4042	1674	2777	2777	
4043	1675	4011	STC 11	
4044	1676	0645	LDF 5	
4045	1677	1030	LDA I 10	
4046	1700	4121	STC OP+1	
4047	1701	1030	LDA I 10	
4050	1702	4120	STC OP	
4051	1703	1020	LDA I	
4052	1704	0120	OP	
4053	1705	0601	GO	
4054	1706	6323	DBLDIV	
4055	1707	7712	JMP ++3	
4056	1710	0000	0	
4057	1711	0000	0	
4060	1712	0011	CLR	
4061	1713	0644	LDF 4	
4062	1714	3711	ADD M532	
4063	1715	1120	ADA I	
4064	1716	6777	-1000	
4065	1717	1071	STA I 11	
4066	1720	0011	CLR	
4067	1721	2011	ADD 11	
4070	1722	1460	SAE I	
4071	1723	3377	3377	
4072	1724	7676	JMP M530	
4073			/	
4074			/ AUSGABE	
4075			/	
4076	1725	0601	GO	
4077	1726	6203	TYPNEW	
4100	1727	1020	LDA I	
4101	1730	0167	PTR13	
4102	1731	0601	GO	
4103	1732	6252	TYPSTR	
4104	1733	0011	CLR	
4105	1734	2014	ADD 14	
4106	1735	0601	GO	
4107	1736	6241	TYPDEC	
4110	1737	0011	CLR	
4111	1740	2013	ADD 13	
4112	1741	0601	GO	
4113	1742	6241	TYPDEC	
4114	1743	1020	LDA I	
4115	1744	0130	PTR11	
4116	1745	0601	GO	
4117	1746	6302	DWRITF	
4120	1747	3016	NCP	
4121	1750	0016	NCP	
4122	1751	0441	SNS 1	/SNS1=NAECHSTEF
4123	1752	7761	JMP M570	/VERSUCH, GLEICHE
4124	1753	0011	CLR	/BEDINGUNGEN
4125	1754	2130	ADD PTR11	
4126	1755	1120	ADA I	
4127	1756	0004	4	
4130	1757	4130	STC PTR11	
4131	1760	6357	JMP M27A	
4132	1761	3442	SNS 2	/SNS2=NAECHSTFR
4133	1762	7764	JMP ++2	/VERSUCH, NEUF
4134	1763	6176	JMP M10	
4135	1764	3211	CLR	/BEDINGUNG
4136	1765	3611	GO	

4137	1766	6331	DBCOT	- 99 -
4140	1767	0601	GO	
4141	1770	6314	EDIAL	
4142		/		
4143		/		
4144			LISTAP-1	
4145		/		
4146		/	PROGRAMM FFTMP128	
4147		/	POKORNY	
4150		/	29.11.81	

NO ERRORS

```

0000      *20
0001      /
0002      / PROGRAMM MPINT128 IST EIN MIXRO-
0003      / PROZESSORPROGRAMM UND ARBEITET MIT
0004      / DEM PDP-12. PROGRAMM FETMP128
0005      / ZUSAMMEN
0006      / ERFORDERLICHE ZUSATZAUSRUESTUNG:
0007      / 4K - PLATINE, MP-PDP12 - PLATINE,
0010      / ADC - PLATINE
0011      / ES WANDELT 1024 ZAHLEN U. UEBERGIBT
0012      / DIE 1. 256 WERTE AN DIE PDP SOWIE
0013      / 128 WERTE, DIE ALS DIGITALE MITTEL-
0014      / WERTE AUS JE 8 ZAHLEN BERECHNET WURDEN
0015      / ABTAstrate : KANN MIT INHALT DER
0016      / SPEICHERZELLE 165 VERANDERT WERDEN,
0017      / SONST 1500 MIKROSEKUNDEN
0020      /
0021      PMODE
0022      *160
0023      0160 0060 CRB, 0060
0024      0161 0040 CRA, 0040
0025      0162 2000 SP1, 2000
0026      0163 1000 SP2, 1000
0027      0164 6000 ZAEHL1, 6000
0030      0165 7701 ZAEHL2, 7701 /ABTAstrate
0031      0166 7400 ZAEHL3, 7400
0032      0167 7200 ZAEHL4, 7200
0033      0170 7600 ZAEHL5, 7600
0034      *200
0035      0200 6007 6007 /CAF
0036      /
0037      / PREPARE ADC-PIE
0040      /
0041      0201 7300 CLA CLL
0042      0202 6505 6505 /WRCA
0043      0203 7200 CLA
0044      0204 1160 TAD CRB
0045      0205 6515 6515 /WRCB
0046      /
0047      / PREPARE MPPDP-PIF
0050      /
0051      0206 7200 CLA
0052      0207 6075 6075 /WRCB
0053      0210 1161 TAD CRA
0054      0211 6065 6065 /WRCA
0055      /
0056      / KONSTANTEN
0057      /
0060      0212 7200 M10, CLA
0061      0213 1162 TAD SP1
0062      0214 3151 DCA 151
0063      0215 7200 CLA
0064      0216 1164 TAD ZAEHL1
0065      0217 3152 DCA 152
0066      0220 6503 6503 /SKIP1,VORZ.TRIG
0067      0221 7000 NOP
0070      0222 6507 6507 /CFLAG1
0071      0223 6067 6067 /CFLAG1
0072      /
0073      / WANDELN + ABSPEICHERN NACH 2000-3777
0074      /
0075      0224 7200 M20, CLA

```

0076	0225	6503	6503	/SKIP2=TRIG-
0077	0226	5225	JMP -1	/ADC-PIF?
0100	0227	7200	M30, CLA	
0101	0230	6506	6506	/SFLAG1=WANDEL!
0102	0231	6502	6502	/SKIP1=FERTIG?
0103	0232	5231	JMP -1	
0104	0233	6507	6507	/CFLAG1
0105	0234	7200	CLA	
0106	0235	6500	6500	/READ1=ERG.IN AC
0107	0236	3551	DCA I 151	
0110	0237	2151	ISZ 151	
0111	0240	7000	NCP	
0112	0241	2152	ISZ 152	/1777XGEWANDELT?
0113	0242	5244	JMP +2	
0114	0243	5252	JMP M40	
0115	0244	7200	CLA	
0116	0245	1165	TAD ZAEHL2	/ABTASTRATE
0117	0246	3153	DCA 153	
0120	0247	2153	ISZ 153	
0121	0250	5247	JMP -1	
0122	0251	5227	JMP M30	
0123			/	
0124			/ 1. 256 WERTE NACH 1000-1377	
0125			/	
0126	0252	7200	M40, CLA	
0127	0253	1166	TAD ZAEHL3	
0137	0254	3153	DCA 153	
0131	0255	1163	TAD SP2	
0132	0256	3152	DCA 152	
0133	0257	1162	TAD SP1	
0134	0260	3151	DCA 151	
0135	0261	7200	M50, CLA	
0136	0262	1551	TAD I 151	
0137	0263	3552	DCA I 152	
0140	0264	2151	ISZ 151	
0141	0265	7000	NCP	
0142	0266	2152	ISZ 152	
0143	0267	7000	NCP	
0144	0270	2153	ISZ 153	
0145	0271	5261	JMP M50	
0146			/	
0147			/ 8 WERTE INTEGRIEREN + SPEICHERN	
0150			/ NACH 1400-1577	
0151	0272	7200	CLA	
0152	0273	1162	TAD SP1	
0153	0274	3151	DCA 151	
0154	0275	1170	TAD ZAEHL5	
0155	0276	3153	DCA 153	
0156	0277	7300	M60, CLA CLL	
0157	0300	1551	TAD I 151	
0160	0301	2151	ISZ 151	
0161	0302	7000	NCP	
0162	0303	1551	TAD I 151	
0163	0304	2151	ISZ 151	
0164	0305	7200	NCP	
0165	0306	1551	TAD I 151	
0166	0307	2151	ISZ 151	
0167	0310	7000	NCP	
0170	0311	1551	TAD I 151	
0171	0312	2151	ISZ 151	
0172	0313	7000	NCP	
0173	0314	1551	TAD I 151	
0174	0315	2151	ISZ 151	

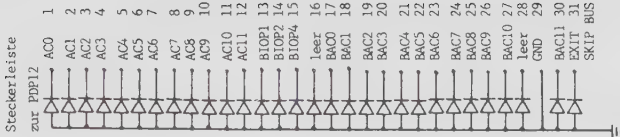
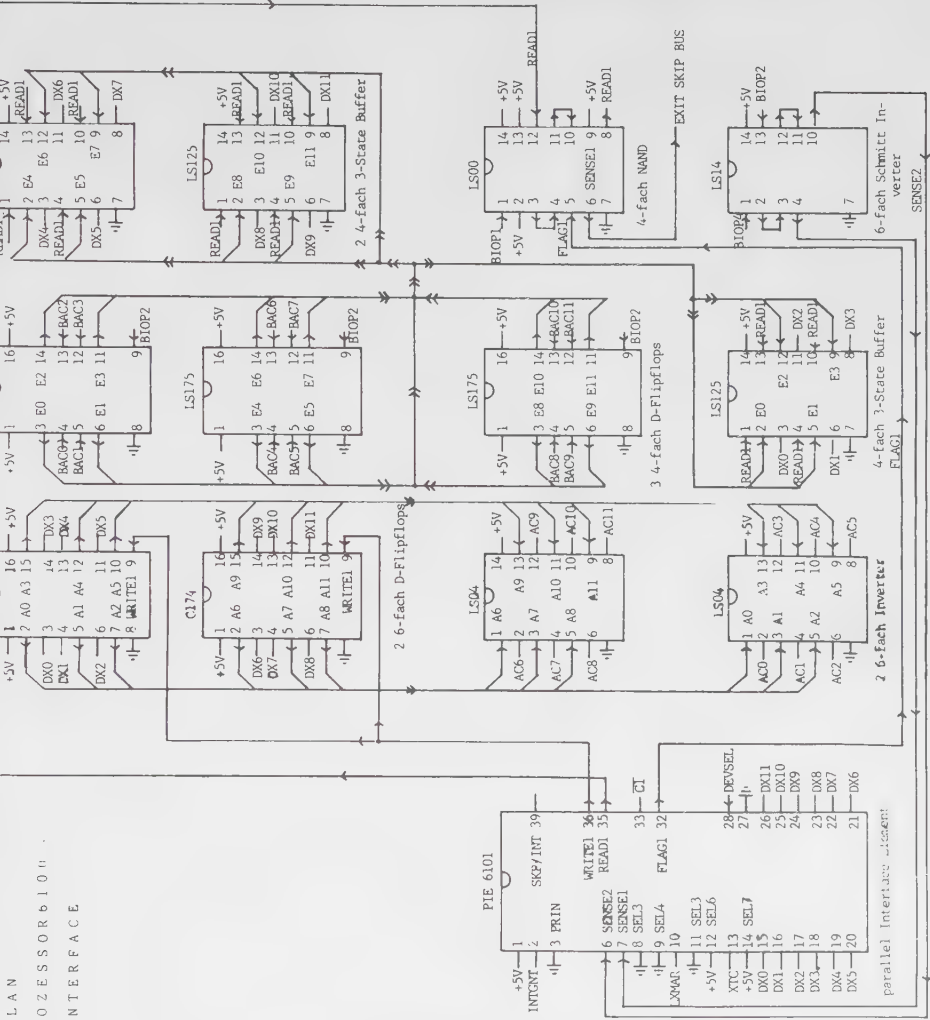
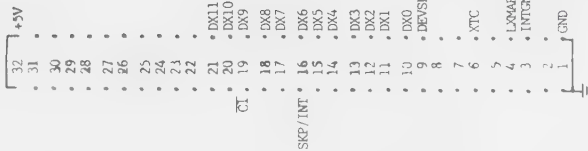
0175	0316	7000	NOP	
0176	0317	1551	TAD I 151	
0177	0320	2151	ISZ 151	
0200	0321	7000	NOP	
0201	0322	1551	TAD I 151	
0202	0323	2151	ISZ 151	
0203	0324	7000	NOP	
0204	0325	1551	TAD I 151	
0205	0326	2151	ISZ 151	
0206	0327	7000	NOP	
0207	0330	7010	RAR	
0210	0331	7110	CLL RAR	
0211	0332	7110	CLL RAR	
0212	0333	3552	DCA I 152	
0213	0334	2152	ISZ 152	
0214	0335	7000	NOP	
0215	0336	2153	ISZ 153	
0216	0337	5277	JMP M60	
0217			/	
0220			/	AUSGABE VON 1000-1577 AN PDP
0221			/	
0222	0340	7300	CLA CLL	
0223	0341	1163	TAD SP2	
0224	0342	3152	DCA 152	
0225	0343	1167	TAD ZAEHL4	
0226	0344	3154	DCA 154	
0227	0345	7300	M70, CLA CLL	
0230	0346	1552	TAD I 152	
0231	0347	7000	NOP	
0232	0350	6061	6061	/WRITE1
0233	0351	7000	NOP	
0234	0352	7000	NOP	
0235	0353	7000	NOP	
0236	0354	6066	6066	/SFLAG1
0237	0355	6062	6062	/SKIP1
0240	0356	5355	JMP --1	
0241	0357	6067	6067	/CFLAG1
0242	0360	2152	ISZ 152	
0243	0361	7000	NOP	
0244	0362	2154	ISZ 154	
0245	0363	5345	JMP M70	
0246	0364	7200	CLA	
0247	0365	6503	6503	/SKIP2 VORZEITI-
0250	0366	7000	NOP	/GER TRIGGER?
0251	0367	5212	JMP M10	/ZUM ANFANG
0252			/	
0253			/	PROGRAMM MPINT128
0254			/	PCCKERNY
0255			/	29.11.81

NO ERRORS

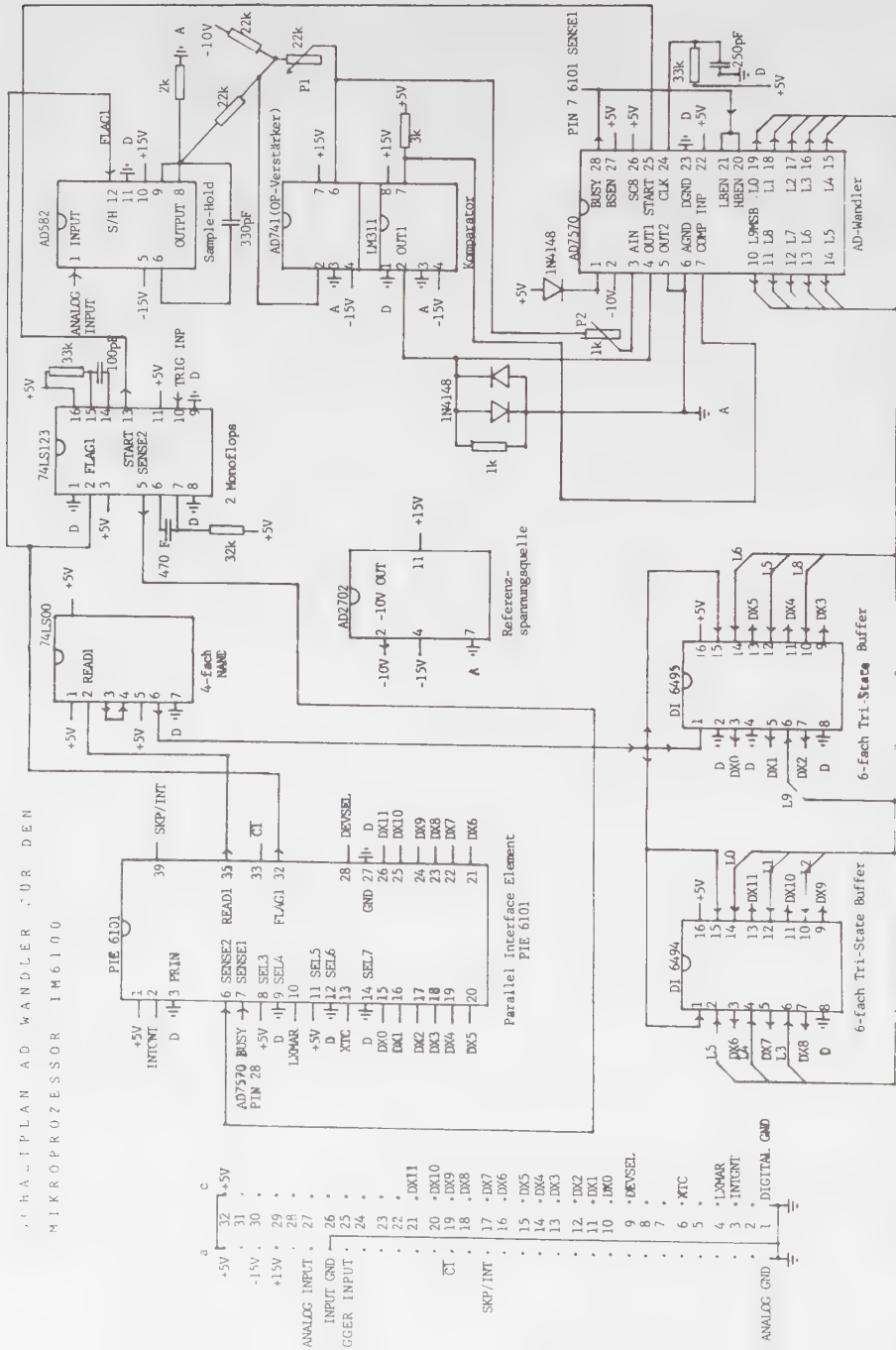
SCHALTPLAN

MIKROPROZESSOR 6101

PDPI7 INTERFACE



HA-PLAN AD WANDLER FÜR DEN MIKROPROZESSOR IM6100



Anhang D: Auswerte-Tabellen für die Beispiele 1 - 40

Beispiel- Nummer	Reiz- art	Gesamtmittel in Einheiten			KLASSE 1		KLASSE 2		KLASSE 3		Mittelungen			Frequenz- bereich in Hz	Parameter	Ver- suchs- person
		P2N1	LP2	LN1	QP2N1	QLP2	QLN1	QP2N1	QLP2	QLN1	QP2N1	QLP2	QLN1			
1	S	4.3	2.6	1.55	1.05	1.02	1.0	1.05	1.02	1.0	0.98	0.98	1.03	34	33	C.P.
2	S+L	5.1	2.7	1.6	1.08	1.0	0.94	0.55	1.0	1.03	1.22	0.94	0.97	34	33	C.P.
3	S+R	4.9	2.6	1.6	1.0	1.0	1.0	0.98	1.0	1.0	1.06	0.98	1.0	34	33	C.P.
4	S	3.5	2.55	1.55	0.93	0.98	0.97	1.71	0.90	0.97	0.86	1.08	0.90	34	33	L.V.
5	S+R	3.0	2.6	1.65	0.97	0.96	0.97	1.17	1.04	0.97	0.87	0.88	1.09	34	33	L.V.
6	S+L	1.65	2.7	1.4	1.27	0.97	1.18	0.93	1.07	0.93	0.73	1.0	1.11	34	33	L.V.
7	S	5.1	2.6	1.45	1.2	1.04	1.10	1.08	0.96	0.9	1.1	1.04	0.9	34	33	H.S.
8	S+L	3.5	2.6	1.5	0.77	1.04	1.07	0.77	1.0	0.97	1.34	1.0	0.93	34	33	H.S.
9	S+R	4.2	2.6	1.55	1.33	1.04	1.06	1.0	0.88	0.9	1.26	1.08	0.97	34	33	H.S.
10	S	7.2	2.4	1.35	0.94	1.13	0.96	1.01	1.04	1.07	1.14	0.92	1.07	34	33	J.H.
11	S+L	5.0	2.6	1.5	1.14	1.04	0.93	0.76	0.96	1.0	1.18	1.0	1.1	34	33	J.H.
12	S+R	6.3	2.3	1.5	0.79	1.0	0.9	1.08	1.04	1.0	1.11	1.0	1.0	34	33	J.H.
13	S	4.3	2.6	1.55	0.95	1.0	1.0	1.23	0.94	1.0	1.0	1.04	1.0	69	19	MAXADR C.P.
14	S	4.3	2.6	1.55	1.09	1.0	1.0	1.02	0.98	0.94	0.84	0.98	1.0	42	38	MAXADR C.P.
15	S	4.3	2.6	1.55	0.86	0.94	1.0	1.0	1.02	1.0	1.19	1.03	1.02	29	39	INT+1.6Hz C.P.
16	S	4.3	2.6	1.55	0.84	0.97	1.0	1.02	1.02	1.03	1.12	1.0	0.97	25	49	MW C.P.
17	S+L	5.1	2.7	1.6	0.65	0.96	1.0	0.98	0.96	1.0	1.33	1.0	1.0	7	83	MW C.P.
18	S	4.3	2.6	1.55	0.84	0.97	1.0	1.02	1.02	1.03	1.12	1.0	0.97	25	49	MW C.P.
19	S	4.3	2.55	1.6	0.42	1.02	1.0	0.48	0.96	1.0	1.02	0.96	0.94	49	29	MW P.M.
20	S	3.7	2.5	1.5	1.11	1.04	0.87	0.89	1.08	0.93	1.84	0.88	0.93	29	46	MW L.V.
21	S	7.3	2.0	1.55	1.1	1.06	1.03	0.82	0.96	0.97	1.61	1.06	1.03	24	45	MW M.H.
22	S	5.5	2.6	1.4	0.91	1.02	1.14	0.96	1.0	1.0	1.46	0.94	1.11	21	58	MW H.S.
23	S	3.7	2.25	1.45	1.0	0.98	1.0	0.89	1.11	1.08	1.27	1.02	1.0	25	48	MW J.H.
24	S	2.0	2.8	1.6	1.03	1.07	1.0	0.98	0.96	1.0	1.33	1.04	0.88	30	47	MW L.K.
25	S	6.2	2.75	1.6	1.12	1.16	0.97	1.0	0.98	1.03	1.58	0.87	0.94	29	45	MW R.P.
26	S	4.3	2.6	1.55	0.81	1.1	1.0	1.02	1.0	1.0	1.07	1.08	0.97	9	80	MAXWRT C.P.
27	S	4.3	2.55	1.6	0.74	1.1	0.94	0.86	0.96	1.03	1.98	0.94	1.03	19	61	MAXWRT P.M.
28	S	1.85	2.5	1.5	1.08	1.06	1.27	1.14	0.92	0.9	1.78	1.0	1.0	17	64	MAXWRT L.V.

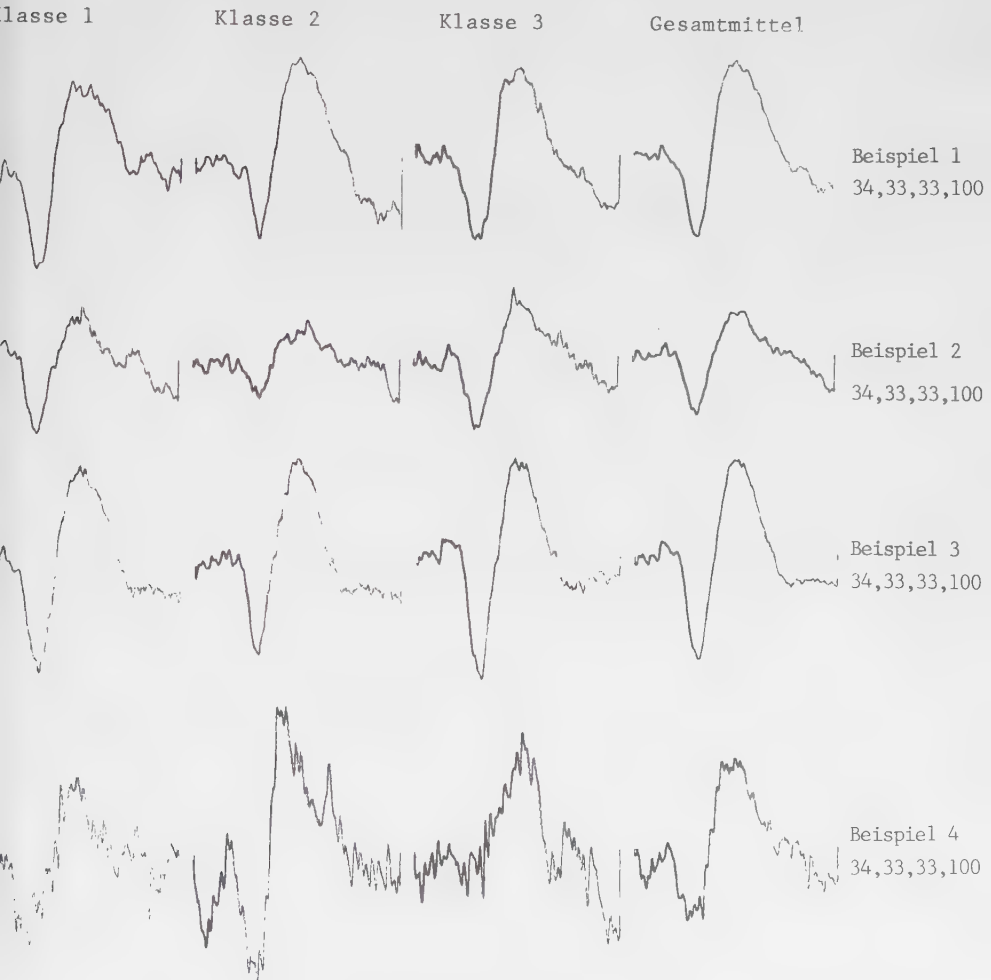
Beispiel- Nummer	Reiz- art	Gesamtmittel in Einheiten			KLASSE 1			KLASSE 2			KLASSE 3			Frequenz- bereich in			Parameter in	Ver- suchs- person	
		P2N1	LP2	LN1	QP2N1	Q1P2	QLN1	QP2N1	Q1P2	QLN1	QP2N1	Q1P2	QLN1	1.K1	2.K1	3.K1			Hz
29	S	7.3	2.0	1.55	0.97	1.05	1.03	1.0	1.35	1.0	4.04	0.98	0.9	15	70	15	10.72	MAXWRT	M.H.
30	S	5.5	2.6	1.4	1.67	0.96	1.07	0.8	1.0	0.93	2.2	0.98	1.14	14	69	17	5.36	MAXWRT	H.S.
31	S	3.7	2.25	1.45	1.41	1.02	0.97	0.89	1.04	1.03	1.68	0.98	0.9	11	77	12	5.36	MAXWRT	J.H.
32	S	2.0	2.8	1.6	0.9	0.89	1.0	1.1	1.0	1.0	1.5	1.18	0.81	19	65	16	5.36	MAXWRT	L.K.
33	S	6.2	2.75	1.6	1.21	0.95	0.94	0.98	0.96	0.94	1.60	0.91	1.09	20	60	20	5.36	MAXWRT	R.P.
34	S	5.5	2.6	1.4	-	-	-	0.84	1.0	1.14	1.42	1.02	1.07	-	51	49	5.36	MAXWRT	H.S.
35	S	5.5	2.6	1.4	1.22	0.96	1.11	0.87	1.0	1.0	1.85	1.02	1.07	24	49	27	5.36	MAXWRT	H.S.
36	S	5.5	2.6	1.4	1.64	0.96	?	0.96	1.0	1.0	2.33	0.96	1.07	7	85	8	5.36	MAXWRT	H.S.
37	S	5.5	2.6	1.4	?	?	?	0.96	1.0	1.0	5.09	0.92	0.57	1	98	1	5.36	MAXWRT	H.S.
38	S+L	3.9	2.8	1.6	0.46	1.02	1.0	1.74	1.02	0.97	-	-	-	57	43	-	5.36	MAXWRT	H.S.
39	S+L	2.65	2.7	1.6	0.89	1.0	1.0	1.17	0.98	1.0	-	-	-	52	48	-	5.36	MAXWRT	C.P.
40	S+L	1.5	2.9	1.5	1.53	1.1	1.33	1.67	0.93	1.0	-	-	-	61	39	-	5.39	MAXWRT	P.M.

? = nicht sicher bestimmbar

- = diese Klasse blieb leer

Anhang E: Bilder der Beispiele 1 - 40

Die Zahlen geben jeweils die Anzahl der Mittelungen in
den jeweiligen Klassen an. (100=Gesamtmittel)

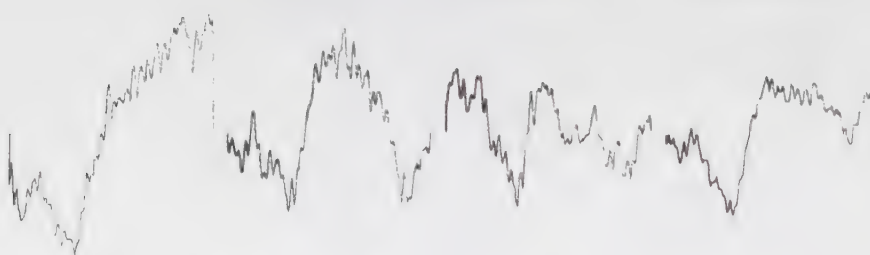


Klasse 1

Klasse 2

Klasse 3

Gesamtmittel



Beispiel 5
34,33,33,100



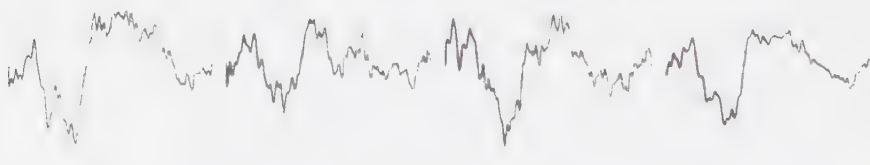
Beispiel 6
34,33,33,100



Beispiel 7
34,33,33,100



Beispiel 8
34,33,33,100



Beispiel 9
34,33,33,100



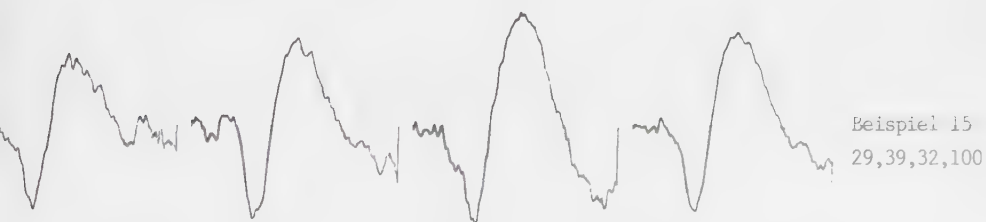
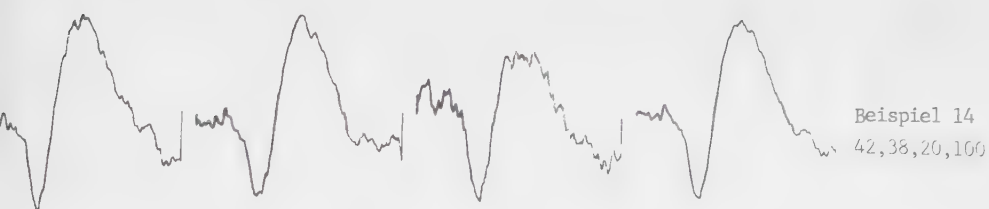
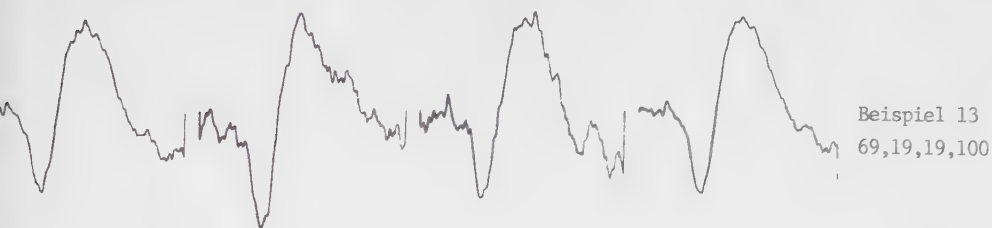
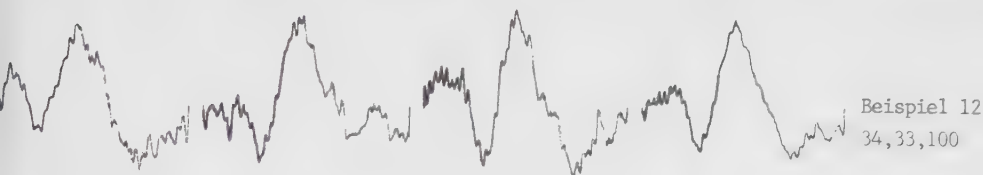
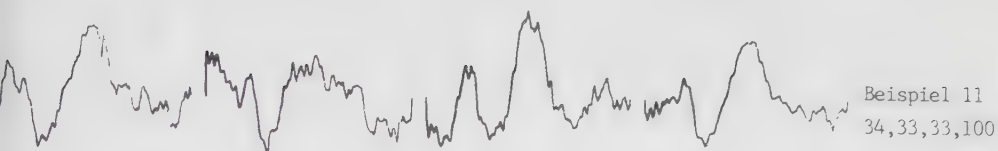
Beispiel 10
34,33,33,100

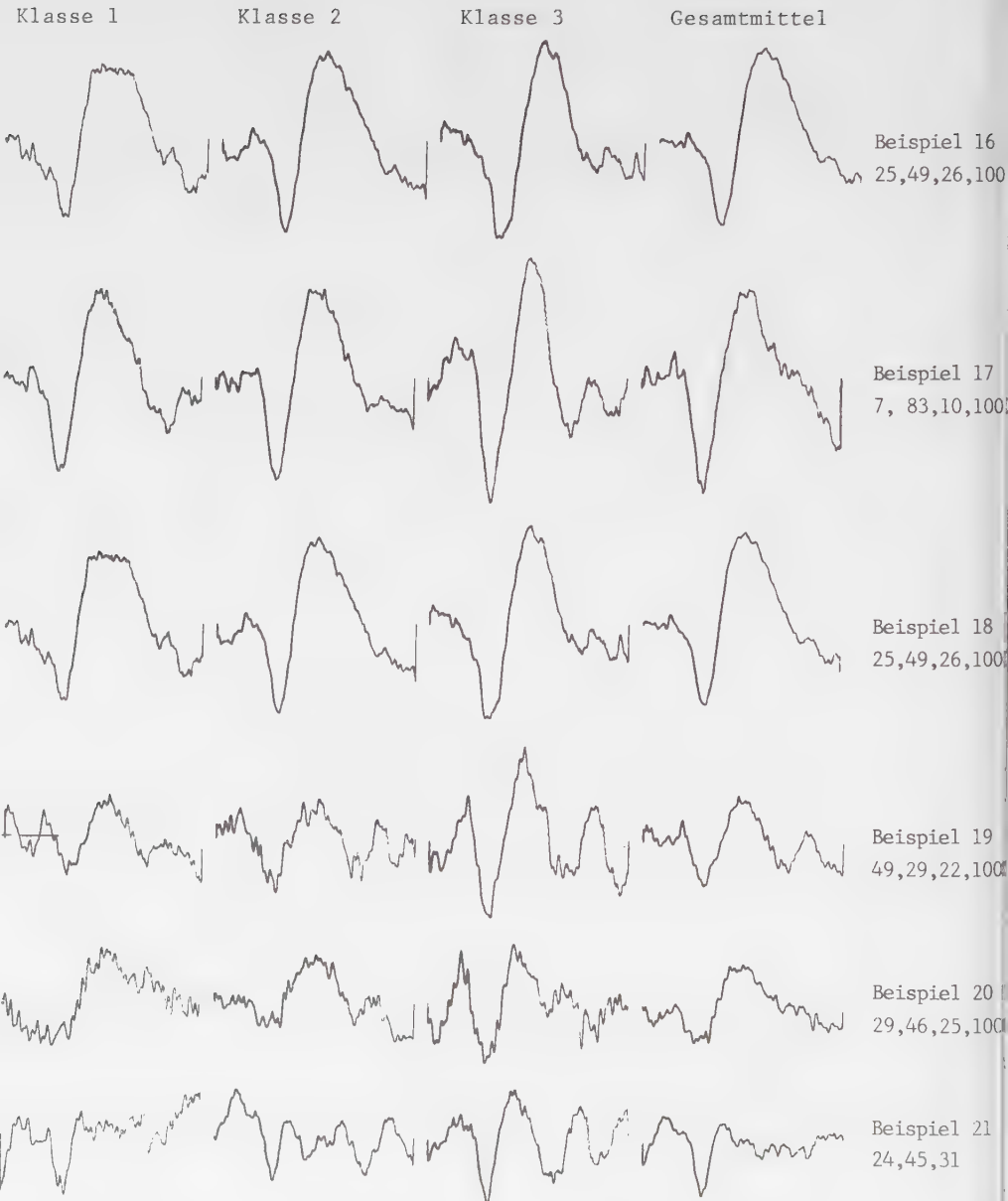
Klasse 1

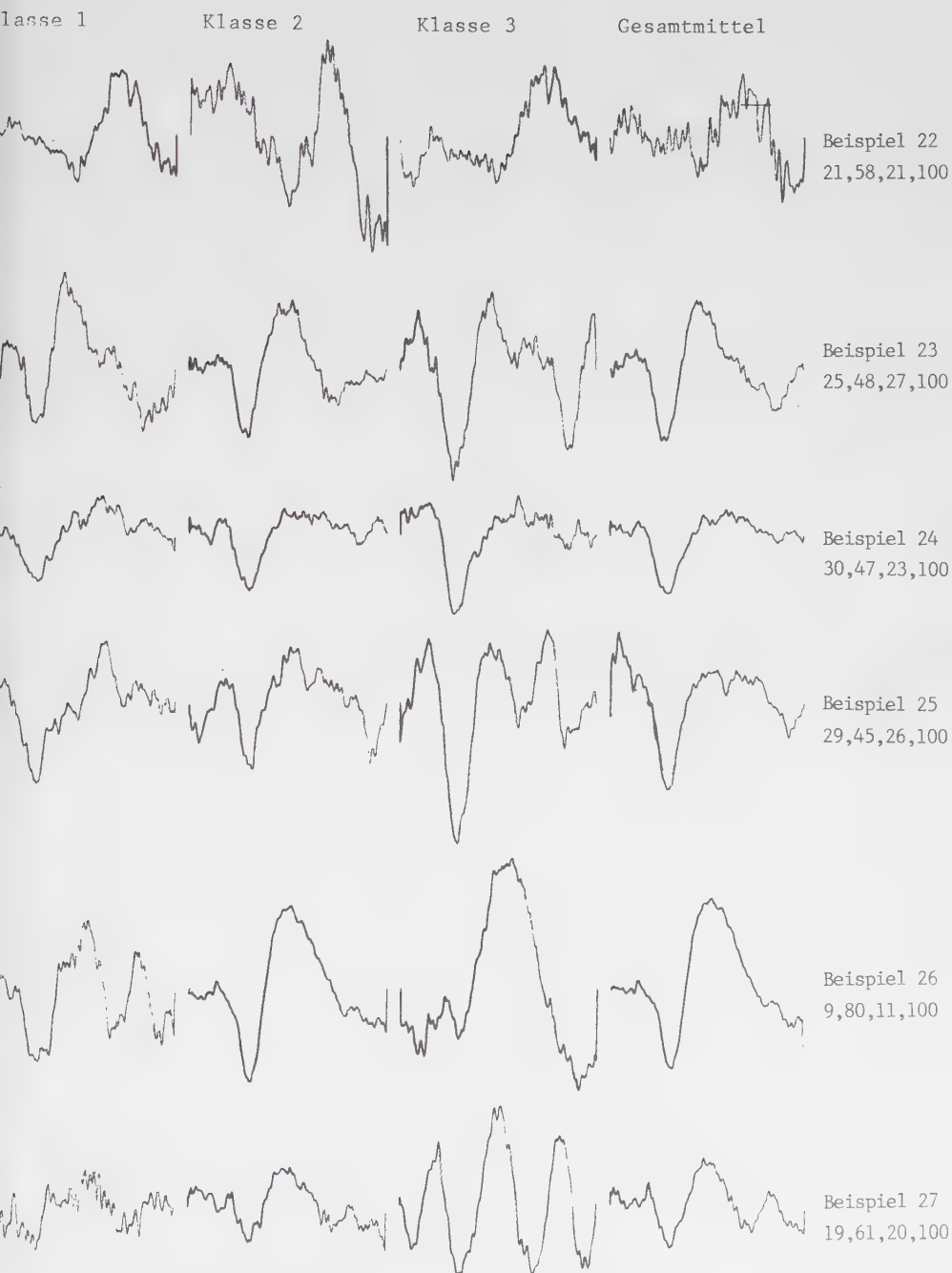
Klasse 2

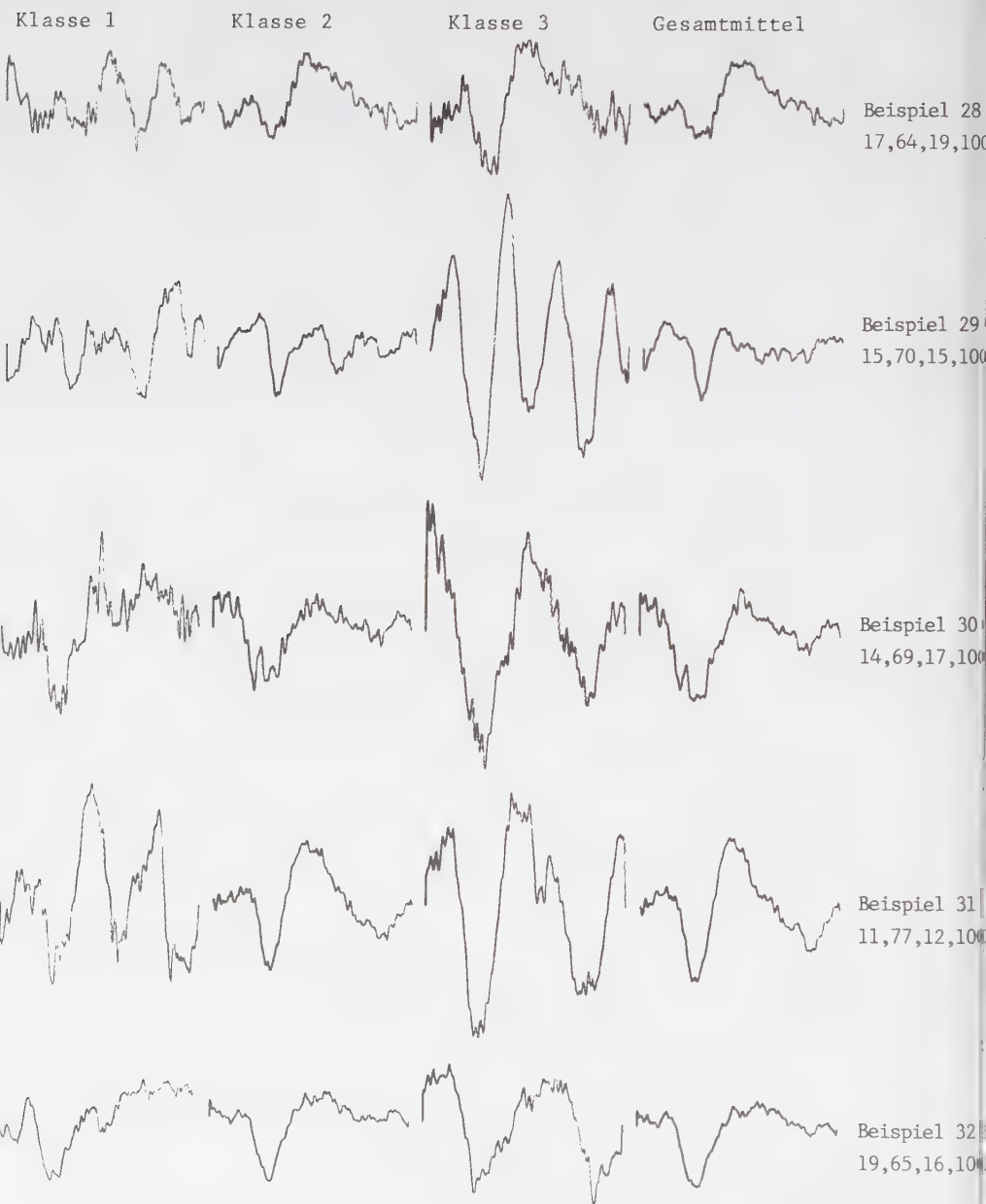
Klasse 3

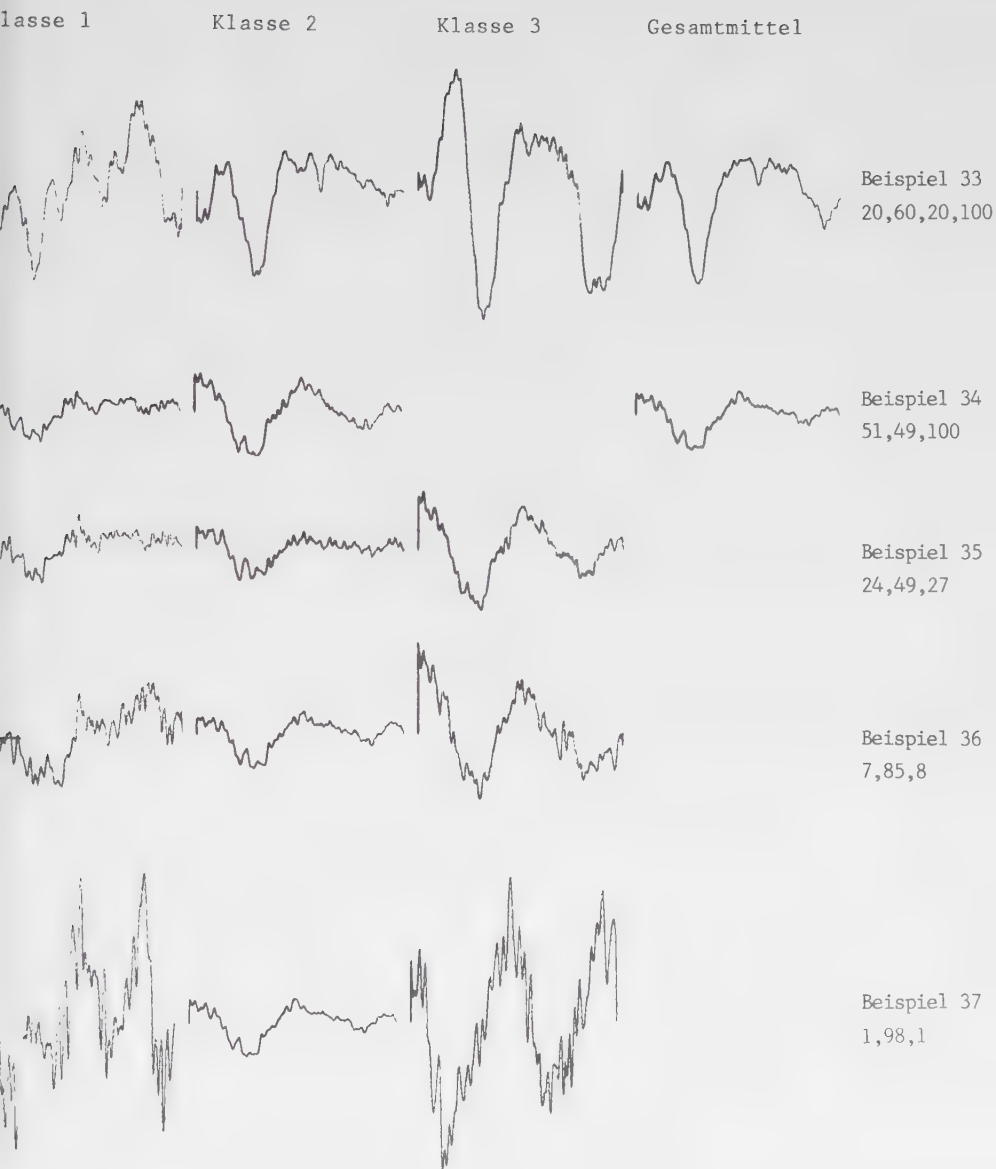
Gesamtmittel







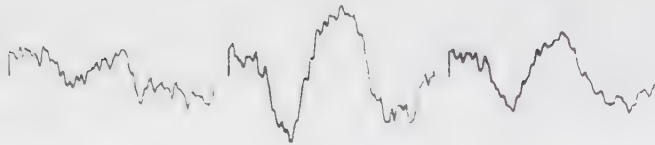




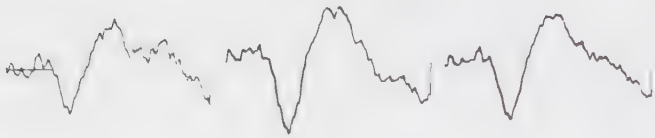
Klasse 1

Klasse 2

Gesamtmittel



Beispiel 38
57,43,100



Beispiel 39
52,48,100



Beispiel 40
61,39,100

Lebenslauf

Am 5. Mai 1951 wurde ich als Sohn des Dipl.-Ingenieurs Fritz Pokorny und der Hausfrau Hedwig Pokorny in Gummersbach geboren. Nach der Übersiedelung 1952 nach Erlangen besuchte ich dort 4 Jahre die Volksschule, anschließend 9 Jahre das naturwissenschaftliche Ohm-Gymnasium. Nach dem Abitur 1970 studierte ich Elektrotechnik an der Universität Erlangen, Abschluß mit dem Diplom 1976. 1975 begann ich mit dem Medizinstudium an der Universität Erlangen, nach welchem ich im November 1981 meine Approbation als Arzt erhielt. Von Dezember 1981 an arbeitete ich als Assistenzarzt an der Universität Frankfurt in der Inneren Medizin, Abteilung Angiologie, bis zum 4.10.1982. Seitdem arbeite ich als wehrpflichtiger Stabsarzt bei der Bundeswehr, z.Zt. in Feuchtwangen.

Copy - Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197